СКРИПТЫ И ФУНКЦИИ

Содержимое

ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДАННОГО LIVE SCRIPT ПРЕДПОЛАГАЕТСЯ, ЧТО ЯЧЕЙКИ ЗАПУСКАЮТСЯ ОДНА ЗА ДРУГОЙ ПРИ ПОМОЩИ ВЫБОРА ЯЧЕЙКИ И ОДНОВРЕМЕННОГО НАЖАТИЯ "CTRL + ENTER", НЕКОТОРЫЕ ЯЧЕЙКИ НАМЕРЕННО ВОЗВРАЩАЮТ ОШИБКУ. ПРИ РАБОТЕ СКРИПТА СОЗДАЕТСЯ НЕСКОЛЬКО ДИРЕКТОРИЙ В ОСНОВНОЙ ПАПКЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ СКРИПТА, ПОСЛЕ РАБОТЫ ИХ МОЖНО ЛИБО УДАЛИТЬ ВРУЧНУЮ, ЛИБО, ЗАПУСТИВ ПОСЛЕДНЮЮ ЯЧЕЙКУ СРИПТА. ЛОГИКА РАБОТЫ СКРИПТА ПРЕДПОЛАГАЕТ ОТСУТСТВИЕ СОЗДАННЫХ РАНЕЕ ПАПОК В ОСНОВНОЙ ПАПКЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ СКРИПТА

Семинар 5

Работа с именами файлов и папками

```
disp("Current dir")
cd  % возвращает текущую (рабочую) папку
pwd() % возвращает  рабочую папку
% при вызове с аргументом меняется рабочую папку
cd(get_folder()) % меняем рабочую папку
% функция get_folder - возвращает путь к расположению файла кода, открытого
% в редакторе, этот путь может не совпадать с рабочей папкой
pwd()
temp_dir1 = fullfile(pwd(),"temp") % fullfile(folder1,folder2,...) генерирует
строку пути к папке/файлу, в зависимости от операционной системы
% ОС отличаюстя по формату пути , win - разделитель "/", unix - "\"
temp_dir2 = fullfile(".","temp") % относительный путь (оба варианта одинаковы)
```

```
% чистим папку если она существует
if isfolder(temp_dir1)
    rmdir(temp_dir1) % команда удаления папки
end
```

```
% создаем папку если ее не существует
if ~isfolder(temp_dir1)
    mkdir(temp_dir2) % команда создания папки
end
```

```
% Двигаемся вверх по дереву папок

cd .. % если при вызове функциии не указываются круглые скобки,
% то входной аргумент интерпретируется как массив символов
pwd()
```

```
fullfile(temp_dir2) % относительный путь перестал работать
pwd()
```

```
cd(temp_dir1) % абсолютный путь
pwd()
```

```
% Создаем текстовые файлы
N=100
parfor ii=1:N
    fname = string(ii)+".txt";
    writematrix(rand(N),fname);% заполняем файл
end
```

```
% находим файлы в папке при помощи функции dir()
dir_structure = dir(".") % возвращаем все файлы в текущей папке
file_names = string( ...
```

```
    {dir_structure(:).name} ... % splat функция, list-comprehention
{struct(:).field},
    ...% [struct(:).field] тоже работает если содержимое поле может складываться в
массив
    )'
full_file_names = fullfile(string({dir_structure(:).folder})',file_names);
is_file_Flag = ~[dir_structure(:).isdir]
average_value=0
for f=full_file_names(is_file_Flag)'
    average_value = average_value + sum(readmatrix(f),'all')/(N*N);
end
average_value = average_value/sum(is_file_Flag);
average_value
```

```
% альтернативный вариант - использовать ls
files_in_dir = ls("*.txt") % возвращает результат в виде матрицы символов, строка
соответсвует имени файла, а количество
% столбцов максимальной длине (лишнее заполняется пробелами)
file_names2 = strip([string(files_in_dir(:,1:7))])
```

```
% можно заархивировать
zip("../temp_zip",file_names2)
```

Workspace

Текущий "срез" памяти, показывает соотнесение между созданными пользователем данными и именами в настоящий момент времени (run-time)

Workspace - пространство имен, в котором матлаб ищет символы в первую очередь, когда мы вводим имя переменной в командной строке

```
var1 = 15;
var2 = "вторая переменная"
A = 45;
whos % переменные в workspace
whos t* % все переменные, начинающиеся с t
whos *dir*
```

Получение информации о текущем **workspace** в процесее выполнения кода

```
who % возвращает имена переменных в текущем воркспейсе
what(get_folder()) % возвращает имена матлабовских функций в папке
what .. %  (".." - в данном случае - имя папки)
```

Удаление переменных из текущего workspace

```
A = 1;B = 15;
```

```
who
clearvars -except B % удаляме все кроме B
who
```

```
AC = 1;AB = 15;B = 15;
who
clearvars A* % можно также использовать regexp
who
exist B var % наличие переменной с заданным именем в воркспейсе можно проверять
функцией exist
```

Когда вы вводим в командной строке символ, он ищется в первую очередь в текущем **workspace**

sin - встроеная функция для расчета синуса, pi - встроенная константа матлаб

```
clearvars
sin(pi)
```

```
sin="Eating pie is a sin, sin of pi is " + string(sin(pi))
```

Теперь sin - это строка символов (попробуйте дважды запустить этот блок)

```
sin(pi)
```

```
clearvars
sin(pi)
```

Сохранение переменных из текущего workspace

Матлаб имеет собственный бинарный формат файлов, который позволяет сохранять содержимое **workspace,** частично или полностью

```
A = 1;B = 15;
if ~isfolder(fullfile(get_folder(),"mat"))
    mkdir(fullfile(get_folder(),"mat"))
end
save("mat_file.mat") % mat - файл, бинарный файл для хранения матлабовский данных
как есть
clearvars % почистили воркспейс
who
load("mat_file.mat","A"); % загрузили переменную A из файла
who
```

Браузер текущего воркспейс

```
workspace
```

Как (может быть) устроен MATLAB внутри?

Не известно с момента появления JIT (Just In-Time compiler)

Язык программирования - это программа, которая переводит код из символьной формы, близкой к математической записи или человеческой речи, в машинный код

Особенностью машинного кода является, в частности, то, что он требует типизации для формирования блоков команд, как это можно совместить с динамической типизацией?

Например, функция:

```
A + B
```

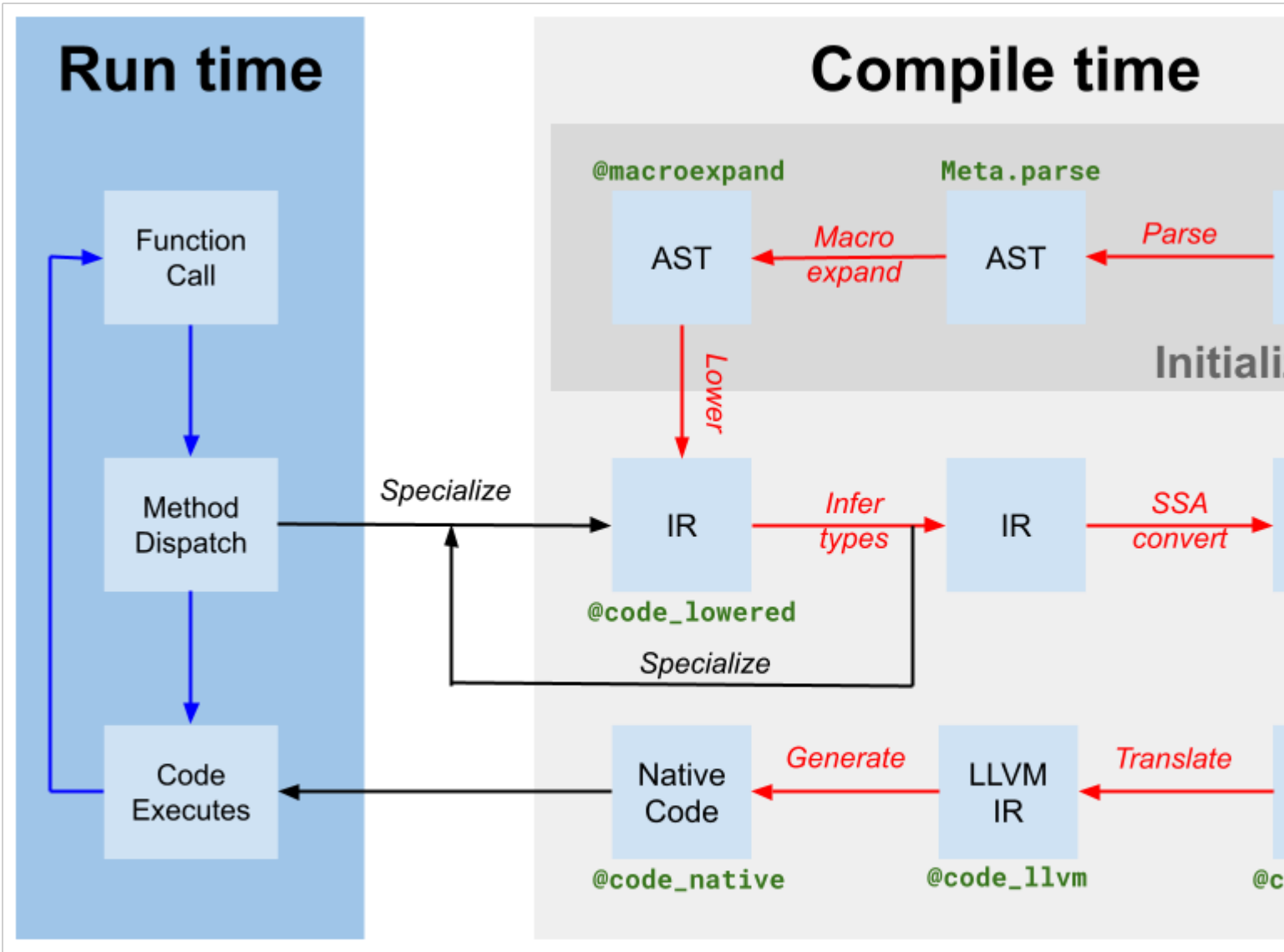
В матлабе записывается одинаково и для A и B типа **double** и для A и B типа **string**, однако, машинный код для этих операций будет совершенно разным.

Откуда языку взять информацию про типы?

Елинственная возможность понять тип переменных A и B - это получить ее непосредственно в процессе работы программы (**run-time**), соответсвенно и машинный код должен быть либо сформирован заново в **run-time** , либо загружен из кэша (если такой сочетание типов уже вызывалось раньше, можно сохранить код в некоторм хранилище) и затем запущен.

В результате при выполнении команды A + B будут "загружены/созданы" разные машинные коды при одинаковой симовльной записи кода матлаб.

Как преобразует код матлаб до конца не понятно, общее представление можно получить, если посмотреть на то как с кодом работает другой язык динамической типизации **Julia**



Основные этапы работы с кодом в **julia** на этой картинке следующие:

1. **Парсинг** - это преобразование исходных символов (**source code**) в некоторую промежуточную форму, которая называется **AST** (abstract syntax tree), в этой форме развернуты элементы синтактического сахара
2. В **julia** дальше следует развертывание макросов, в матлабе, насколько я понимаю макросов нет (по крайней мере они не доступны), так или иначе, код пробразуется в некоторую промежуточную форму **IR** (intermediate representation), в этой форме язык не знает про типы. Далее происходит ряд специфических для **julia** преобразований и оптимизаций кода

3. Слева показана работа в **run-time** при вызове функции, вначале происходит выбор метода **method dispatch,** то есть необходимо понять какой метод использовать, в **julia** выбор метода производится в зависимости от типа (типов) аргумента, в **матлабе** выбор метода производится по имени функции (и по типу первого аргумента, если это метод класса).
4. И далее есть два пути стрелкой вниз показан путь для ситуации когда для функции с данным набором типов уже создан метод (хранится в кэше), если такой метод есть вызывается он. Стрелкой **specialize** показано, путь когда такая функций ранее не вызывалась, тогда мы идем по большому кругу, необходимо прогнать run-type типы данных через серию преобразований, чтобы получить в конце концов **native code** (что-то близкое к ассемблеру). Таким образом, информация о типах берется из текущих типов переменных, но **JIT** компилятор применяет информацию о типах не непосредственно на исходном коде в символьной записи, а уже на некоторйо промежуточной форме кода.

К сожалению, для матлаб такой схемы у меня нет, интересно было бы посмотреть как работает **JIT** в матлаб.

Функция eval

Парсинг и выполнение кода

```
eval('expression code ')
```

```
eval("A+B") %
```

```
A=5;B=6;
eval("A+B")
```

```
A="A";B="B";
eval("A+B")
```

```
C = "Very important variable"
eval("C=rand(100)") % выполнение eval  - заменяет переменную
```

```
N = randi(500)
fun = @()eval("rand("+string(N)+")");% это анонимная функция, про них - дальше
```

```
disp("Вызов  функции через eval: ")
timeit(fun)
N_string = string(N);
disp("Вызов функции с аргументом, вычисляемым через  eval: ")
timeit(@()rand(eval(N_string)))
disp("Непосредственный вызов функции с числовым аргументом без eval: ")
```

```
timeit(@()rand(N))
```

Итого, как правило, eval - медленнее, чем вызов функции непосредственно, кроме того, использование eval приводит к меньшей прозрачности кода (см. пример с заменой переменной)

Выводы по семинару 5

1. Функции для работы с файловой системой **cd**() - поменять текущую директорию, **pwd**() - запросить текущуб папку
2. **Workspace** - пространство имен переменных и соответсвующего им содержимого в памяти в текущий момент времени. Функции **who**() - имена переменных, **whos**() - информация о переменных. При старте матлаб, комнадная строка работает с базовым **workspace** - **base**
3. Прежде, чем быть выполненным текст программы преобразуется и оптимизируется, окончательно инструкции "железу" формируются когда понятна типизация переменных, которая получается в режиме **run-time.** Алгоритм работы JIT в матлаб толком не понятен (документации на него нет), поэтому лучше всего, если нужен

Семинар 6

Скрипты

Скрипт - эвивалент **copy-paste** кода, который сохранен в отдельный файл, то есть ему присвоено имя

Этот кусок кода выполняется в том **workspace,** в котором скрипт был вызван

```
% формируем текст скрипта
script1_text = ["A=12;";...
                "B=C+A;"] % пока не будем пользоваться матлабовским редактором
файлов, так как он "слишком умный"
if ~isfolder(fullfile(get_folder(),"scripts"))
    mkdir(fullfile(get_folder(),"scripts"))
end
rmpath(fullfile(get_folder(),"scripts")); % что происходит на данной строчке
объясняется потом
cd(get_folder())
script_file_name = fullfile(".","scripts","script1.m") % имя файла, в который
сохраняется скрипт
% пишем текст скрипта в файл
writelines(script1_text,script_file_name); % writelines - пишет массив строк в
текстовый файл, предполагая, что каждый элемент - это отдельная строка
```

```
% код скрипта script1.m
A=12;
B=C+A;
```

Работа скрипта при его запуске из рабочей папки, где лежит скрипт

```
cd(fullfile(get_folder(),"scripts")) % сделаем текущей папкой - папку, где лежит
скрипт
current_folder = pwd();
current_folder
```

```
clearvars % чистим base воркспейс
some_variable = [];
who
script1
```

Почему возникает ошибка?

```
clearvars
who
C=15 % создаем переменную C
A = "Ваше мнение очень важно для нас!"
whos
script1
whos
A
```

Очень неприятный побочный эффект! Скрипт подменил переменную A

Что быстрее скрипт или eval?

```
clear all % чистит все, в том числе скомпилированные файлы
cd(fullfile(get_folder(),"scripts"))
script_to_test_text = "A=rand(100);B=eig(A);"
% пишем текст скрипта в файл
writelines(script_to_test_text,"script_test.m");
disp(" script_test : "); tic
for ii=1:10    script_test; end
script_mean_time_per_run = toc/10
disp(" Eval(script_text) : "); tic
for ii=1:50 eval(script_to_test_text); end
eval_mean_time_per_run = toc/10
```

```
clearvars
% вернемся в корневую папку ливскрипта
cd(get_folder()) % теперь рабочая папке  - это папка, в которй лежит сам ливскрипт
current_folder = pwd();
current_folder
% выполним этот скрипт
script1
% ошибка!
```

```
% Почему?
```

MATLAB path

Вызов скрипта по имени производится точно также как запрос содержимого переменной с тем же именем.

Когда мы вызываем скрипт по его имени, матлаб:

1. Ищет переменную с таким именем в текущем workspace
2. Затем ищет файл с этим именем вначале в текущей папке (**pwd**(), чтобы ее посмотреть)
3. Далее он перебирает папки в MATLAB path, причем в той последовательности, в которой они там написаны (сверху-вниз)

```
% посмотреть текущий путь
path
folders1 = path();
```

Пути в **MATLAB path** хранятся в заданной последовательности

Чтобы в этом убедится создадим два скрипта с одним именем, но разным содержимым:

```
% создаем два скрипта с одним именем
script1_folder = fullfile(get_folder(),"scripts1");rmpath(script1_folder); %
варнинг можно игнорировать
script2_folder = fullfile(get_folder(),"scripts2");rmpath(script2_folder); %
% создаем два скрипта с одним именем, но в разных папках (код функции
% make_script можно посмотреть в конце данного скрипта)
make_script(script2_folder,"same_script","disp('Выполняется script из папки
scripts2')")
make_script(script1_folder,"same_script","disp('Выполняется script из папки
scripts1')")
% оба скрипта имеют имя script
```

Добавим путь к первому скрипту в конец **MATLAB path**

```
folders = path()
folders= path(folders,char(script1_folder)); % доабавляет путь в конец
same_script
```

Добавим путь ко первому скрипту в конец **MATLAB path**

```
folders = path(char(script2_folder),folders); % доабавляет путь в начало
same_script
```

```
rmpath(char(script2_folder)) % удаляем путь ко второй папке со скриптом
same_script % теперь опять запускается первый скрипт
```

```
% savepath()  сохраняет текущий набор путей в файл дефолтного набора путей,
% который загружаются при старте матлаба (не будем ее забивать)
savepath("cur_path.m") % сохраняет в отдельный файл
```

Графическая оболочка для редактирования путей

```
pathtool
```

Функции

До этого момента мы работали в базовом **workspace,** то есть том, который загружается при старте матлаб. Заполнение пространства имен происходило путем выполнения операции присвоения при помощи символа "=" как конструкция вида: "variable_name=variable_value". После заполнения **workspace** переменными мы могли оперировать значениями, которые привязаны к их именам, путем ввода инструкций либо в командной строке, либо при помощи скриптов. Инструкции записывались как комбинации символов. При этом символы, соответсвующие именам переменных, содержащимся в **workspace,** автоматически (при парсинге символов, записывающих эти инструкции) интерпретировались как привязанное к ним содержимое. На примере скрипта подменяющего набор символов для встроенной функции **sin,** мы убедились, что присвоение того же имени новому значению переобозначает данный набор символов, затеняя в данном случае встроенную функцию.

Написание достаточно сложной программы требует создания большого числа переменных, поэтому, оставаясь в рамках одного и того же **workspace,** есть большая вероятность совершить "подмену" переменных (как это происходило в примере со сриптами и функцией **eval**), что приведет к неправильной работе программы.

Выходом тут является использование синтаксических конструкий, которые позволяют изолировать пространства имен переменных для различных составных частей программы друг от друга (само содержимое переменных, может при этом быть и не изолировано, но этот вопрос мы будем рассматривать в последующих семинарах для объектов особого типа **handle**).

Основным инструментом языка матлаб (и парадигмы функционального программирования), который позволяет создавать изолированное пространство имен являются функции.

Таким образом, каждая функция имеет свой **workspace,** содержимое которого в момент начала выполнения кода функции определяется именами ее входных аргументов и привязанными к ним значениями (но не всегда только ими, см. вложенные функции далее). Базовый синтаксис записи кода функций показан ниже:

```
%--------выходные аргументы------имя функции(входные аргументы)
% имя функции должно быть информативным, разные слова рекомендуется разделять символом _
% имена входных и выходных аргументов тоже рекомендуется использовать сложные, но информативные
% имена функции и аргументов, как правило, пишут маленькими буквами
% функции должны быть достаточно короткими (рекомендуется не более 50 строк), если получается больше,
надо думать как разбить на функции по-проще
% рекомендуется использовать отступы для вложенных операторов
% специальным словом return  - можно прервать выполнению функции на любом этапе и заставить вернуть ее
текущие значения выходных переменных
function [out1_name,out2_name] = fun_name(arg1_name,arg2_name)
```

```
    % doc string - то, что идет после заголовка функции - отображается в качестве help'а по этой
функции
    % Общие правила документации:
    % Вначале идет общее описание того, что делает функция, затем описание входных и выходных
аргументов, побочные действия функции (например, меняет ли она входные аргументы)
    % arg1_name, arg2_name - входные аргументы
    % out1_name,out2_name - выходные урументы
    if arg1_name>0
        out1_name = 2;
        out2_name = 4; % ; обязательна, иначе матлаб печатает то что возвращает операция

        if arg2_name<0
            return
        end
    elseif arg2_name<0
        for i=1:10
            out1_name = rand();
            out2_name = rand();
        end
    else % при ветвлении кода функции надо помнить, что выходным аргументам в теле функции должны быть
обязательно в явном виде присвоены значения
        return % в данном случае выходные аргументы не определены, поэтому при попадании в данную
ветку, если при вызове функции были запрошены выходные аргументы, будет ошибка

    end


end
```

Функции, как и скрипты могут быть записаны в текстовые файлы с расщирением "**.m**"

```
% код функции в файле fun.m
function out_arg = fun(input_arg1,input_arg2)
% код функции, например:
    out_arg = 2 + 3.1*input_arg1 + sin(input_arg1); % этот код включает встроенные функции типа +,
sin(), *
end

% вызов функции:
A=15;B=3.31;% заполняется caller workspace
C=fun(A,B) % значение A => input_arg1, значение B => input_arg2
```

Когда происходит вызов функции, то есть, матлаб встречает языковую конструкцию вида "**function_name(...)**" для него это значит, что надо найти ее имя и код функции либо в **workspace**, либо в **matlab path** и запустить его (об этом ему говорят круглые скобки). В круглых скобках после имени функции указываются имена аргументов (или непосредственно значения) соответсвующие переменным того **workspace,** из которого происходит вызов функции (**caller workspace**).

Воркспейс функции формируется в момент ее вызова. То есть, когда мы вызываем функцию, передавая в качестве аргументов имена переменных, в **workspace** функци добавляются переменные, имеющие значения, соответсвующие именам переменных из **caller workspace,** а имена, заданным в заголовке функции. В качестве аргументов могут выступать непосредственно значения (числа **double**, символы **string**/**char**, более сложные типы данных, такие как **struct**, **cell** и др.)

```
functions_folder = fullfile(get_folder(),"functions_folder")
if isfolder(functions_folder)
    rmpath(functions_folder) % удаляем из пути матлаб папку с функциями (физически
она не удаляется)
end
make_function(functions_folder,... % folder
                        "swap",... % function name
                        ["A" "B"],...% input arguments
                        ["A" "B"],...% output arguments
                        "%Эта функция меняет местами переменные и отображает свой
workspace",...
                        "C=A;A=B;B=C;",...
                        "disp('Содержимое workspace функции swap:')",...
                        "who % функция who ( и прочие функции работы с workspace)
теперь будут работать в workspace это фукнции)")% function body
% буду иногда пользоваться самодельной функцией make_function, она генерирует код
% функции и текста (создает тектовый файл и пишет туда строки)
% функция read_code - по имени фукнции ищет файл с ней и считывает код
% функции
```

Сгенерированный make_function файл этой функции будет выглядить вот так (в этом можно убедиться открыв созданный файл в редакторе):

```
function [A,B] = swap(A,B) % сигнатура в заголовке должна совпадать с сигнатурой вызова (с некоторыми
исключениями
%Эта функция меняет местами переменные и отображает свой workspace,
% Входные ургменты :
%                   A,B - любые два объекта
% Выходные аргументы :
%                   A - объекта того же типа и значения, что и входной аргумент B,
%                   B - объекта того же типа и значения, что и входной аргумент A,
        C=A;A=B;B=C;
        disp('Содержимое workspace функции swap:')
        who % функция who ( и прочие функции работы с workspace) теперь будут работать в workspace
этой фукнции!
end
```

Вызов функции производится при помощи записи "function_name()", где function_name - имя вызываемой функции.

```
[A,B] = swap("A","B") % вызываем функцию при помощи оператора "()"
```

```
addpath(functions_folder);% добавляем папку в MATLAB path
```

```
read_code("swap") % самодельная функция, которая выводит код по имени функции
```

```
read_code("sin") % код встроенный функций как правило недоступен
```

```
clearvars -except functions_folder
[A,B] = swap("A","B") % работает
disp('Содержимое workspace base:')
who
```

```
help swap % выдает докстринг в консоль
```

```
doc swap % отображает его в браузере
```

Можно игнорировать выходные аргументы (второй аргумент, возвращаемый функцией не присваивается к новой переменной)

```
clearvars -except functions_folder
[~,B] = swap("A","B") % выходные аргументы функции можно игнорировать
A = swap("A","B");
who
```

Функция может игнорировать входные аргументы

```
function out = ignore_arguments(x,~,~)
    out = sin(x);
end
function no_ignore_arguments(x,y,z) % аргументы фигурируют, но не игнорируются
    out = sin(x);
end
```

```
ignore_arguments(9)
ignore_arguments(9,10)
ignore_arguments(9,10,12)
```

Зачем это нужно?

Позволяет сохранить сигнатуру функции как трех-аргументной

```
% данная функция не имеет входных и выходных аргументов
make_function(functions_folder,... % folder
                        "noargs",... % function name
                        "",...% input arguments
                        "",...% output arguments
                        "disp('Содержимое workspace функции noargs:')",...
                        "who")
```

```
noargs()
```

```
read_code("noargs")
```

Указатель на простую функцию

Иногда нужно передать функцию в качестве аргумента, для этого можно перед ее именем поставить знак "@" и она превратится в указатель на функцию

```
simple_fun_handle = @swap % указатель на функцию
class(simple_fun_handle) % относится к особому классу объектов
[A,B] = simple_fun_handle(1,2)
```

Указатели на функцию относятся к классу **function_handle**

```
class(simple_fun_handle) % особый тип объектов function_handle
```

Например код функции, которая вызывает другую функцию может выглядить так:

```
function [A,B] = call_handle(A,B,fun_handle) % fun_handle - имя переменной, которая предполагается
функцией
    [A,B] = fun_handle(A,B);% вызов переменной производится по ее имени при помощи "()"
end
```

```
[A,B] = call_handle("A","B",simple_fun_handle)
```

```
% можно преобразовывать строки в указатели на функции
fun_handle = str2func("sin")
```

Массив указателей на функцию можно хранить в массиве ячеек:

```
% arrayfun - применяет указатель на функцию на каждом элементе массива,
% результат, который она возвращает пытается сложить в массив если вызвана
% с признаком ...,'UniformOutput',true), если ...,'UniformOutput',false) -
% то кажыдй результат вызова вкладывается в свою ячейку, таким образом, на
% выходе имеем массив ячеек размером со входной массив
fun_handles_cell = arrayfun(@str2func,["sin" "cos" "svds"],'UniformOutput',false) %
здесь приходится делать массив ячеек,
% так как указатели на функции нельзя складывать в один массив (не знаю
% почему)
```

Пример. вызов большого количества функций в цикле

```
A = rand(5);
for f = fun_handles_cell
    disp("Функция с именем " + string(func2str(f{1})) + " дает :") % func2str -
обратное к str2func действие
```

```
    f{1}(A)
end
```

```
fun_handles_struct = arrayfun(@(X) struct("fun",str2func(X)),["sin" "cos" "svds"])
```

Метаданные из указателя на функцию

```
simple_fun_handle = @swap
functions(simple_fun_handle) % вытягивает метаинформацию из указателя на функцию
%  - name имя функции оригинала
%  - type тип функции simple/anonymous/nested
%  - file
function_file_name = functions(@swap).file
```

Анонимные функции - функции, не имеющие своего собственного файла - anonymous

Тоже относятся к классу **function_handle**

Нет файла, зато есть **workspace**, который формируется в момент создания функции из того **workspace**

```
% workspace анонимной функции формируется на основе того workspace, в котором она создается
who =>    WS_VAR1 WS_VAR2

anonymous_function_handle = @(ARG1,ARG2,ARG3) (ARG1,ARG2,ARG3, WS_VAR1,WS_VAR2)
```

В приведенном выше коде:

- anonymous_function_handle - имя создаваемой функции

- ARG1,ARG2,ARG3 - символы, обозначенные как входные аргументы,

- (ARG1,ARG2,ARG3, WS_VAR1,WS_VAR2) - тело функции - код, в котором фигурируют имена входных аргументов, а также имена переменных, имеющихся в текущем **workspace**

При интепретации кода анонимной функции для нее создается свой **workspace,** в который входят (с теми же именами) переменные WS_VAR1,WS_VAR2, то есть переменные **workspace,** в котором происходится создание анонимной функции, которые используются в ее коде. В момент создания анонимной функции создается "срез" того **workspace,** в котором она создаеся .

```
%пример
anon_fun = @(f,x) ((f(x+10*eps)-f(x))/(10*eps))
```

```
sin_fun = @sin;
x = transpose(linspace(-pi,pi,100));
```

```
plot(x,anon_fun(sin_fun,x),x,sin_fun(x));
legend("mysterious function","sin")
```

```
clearvars -except anon_fun
f = @sin;% в текущем workspace "приписали" значение к символу "f"
anon_fun2 = @(x) ((f(x+10*eps)-f(x))/(10*eps));% создаем анонимную функцию,
% в коде которой фигурирует переменная "f", но, в отличие от anon_fun, символ "f"
% не обозначени как аргумент (так как его нет

f=@cos; % в текущем workspace заменили значение, приписанное к символу "f"
anon_fun3 = @(x) ((f(x+10*eps)-f(x))/(10*eps)); % код этой функции точно такой же
```

Теперь у функций **anon_fun2** и **anon_fun3** код одинаковый, а содержимое воркспейсов разное, так как в них запечатлены разные "срезы" одного и того же воркспейса, но в разные моменты времени

```
x = transpose(linspace(-pi,pi,100));
anon_fun2(x) - anon_fun(@sin,x)
anon_fun3(x) - anon_fun(@cos,x)
```

```
class(anon_fun)
functions(anon_fun)
```

При создании анонимная функция копирует из **workspace**, в котором она создается, в свой **workspace** те переменные, которые есть в ее коде.

В данном случае это переменная f - указатель на функцию

```
disp("anon_fun workspace:")
functions(anon_fun).workspace{1} % содержимое воркспейса анонимной функции
disp("anon_fun2 workspace:")
functions(anon_fun2).workspace{1} % содержимое воркспейса анонимной функции
```

Меняем код анонимной функции и создаем новую анонимную функцию из старой

```
anon_fun_code = functions(anon_fun).function; % код функции в виде строки
new_anon_fun_code = replace(anon_fun_code,"eps","1e-6");% replace- функция для
работы
% со строками - позволяет заменить последоватлеьность символов - другой, в
% данном случае заеняет "eps" в коде анонимной функции на "1e-6"
new_anon_fun = str2func(new_anon_fun_code)
new_anon_fun()
```

Как сделать так, чтобы сохранился workspace копируемой функции?

Анонимные функции можно коневертировать в символьные

```
% анонимые функции можно конвертировать в символьные (иногда получается
% криво)
```

```
sym_fun = sym(anon_fun2)
```

```
sym_fun_integral = sym(@(x)sin(x)) - int(sym_fun)
```

И обратно....

```
F = matlabFunction(sym_fun_integral,'Vars','x') % теперь это снова анонимая функция
```

```
functions(F)
functions(F).workspace{1}
```

```
F(x)
```

Затеняем анонимной функцией встроенную

```
N=10;
zu = @(k,x) power(-1,k).*power(x,1+2*k)./(factorial(1+2*k))
sin = @(x) sum(zu(0:N,x))
```

```
sin(3) % затеняем встроенную функцию
builtin('sin',3) % функция builtin позволяет вызвать встроенную функцию даже когда
она затенена в данном workspace
```

```
simple_optimizer(0.1,@cos,anon_fun)
```

Полезные штуки для функций

Произвольное число входных аргументов - ***varargin***

Как узнать число входных аргуметов, находясь внутри функции - ***nargin***

```
function out = varargin_function(A,B,varargin)
% A,B - обязательные аргументы
% varargin  - особое слово, которое интерпретируется как произвольное число аргументов (в том числе и
отсутсвие аргументов)
    disp("nargin =>" + string(nargin));
    disp("numel(varargin) =>" + string(nuel(varargin)));
    out = A+B;
    for v=varargin
        out = out + v{1}; % общаемся с varargin, как с массивом ячеек
    end
end
```

```
make_function(functions_folder,... % folder
                        "varargin_function",... % function name
                        "A,B,varargin",...% input arguments
                        "out",...% output arguments
                        "out = A+B;",...
```

```
                        "disp('nargin =>' + string(nargin));",...
                        "disp('numel(varargin) =>' + string(numel(varargin)));",...
                        "for v=varargin","out = out + v{1};","end")
```

```
vararargin_function(10,20)
vararargin_function(10,20,40,78,149)
vararargin_function("a","b","c")
```

Произвольное число вЫходных аргументов - *varargin*

Как узнать число выходных аргументов, находясь внутри функции - *nargout*

Как прерывать выполнение функции - *return*

```
function varargout = vararargout_function(varargin)
    % varargout  - тоже особое слово, в теле функции оно означает, что
    % данный массив ячеек возвращается как splat - функции
    disp(['Число входных аргументов: ' num2str(nargin)]);
    disp(['Число выходных аргументов: ' num2str(nargout)]);

    number_output_arguments = nargout; % особое слово, чтобы узнать число выходных аргументов,
находясь фнутри функции
    varargout = cell(1,number_output_arguments); % если не делать преаллокацию varargout, то вариант,
когда число выходных аргументов больше числа входных будет с ошибкой
    for counter=1:numel(varargin)
        if counter>number_output_arguments
            return % позволяет прервать выполнение функции в любом месте кода (в данном случа в цикле)
        else
            varargout{counter}=svds(varargin{counter}); % программа возвращает первые шесть
сингулярных значений матрицы
        end
    end
end
```

```
[A,B] = vararargout_function(rand(100))
```

```
[A,B] = vararargout_function(rand(100),rand(100))
```

```
[A,~] = vararargout_function(rand(100),rand(100)) % тильда внутри функции считается
за аргумент
```

```
[~,B] = vararargout_function(rand(100),rand(100),rand(100))
```

```
disp("Один входной аргумент, один выходной: " +
string(timeit(@()vararargout_function(rand(500)),1)))

disp("один входной аргумент, два выходных: " +
string(timeit(@()vararargout_function(rand(500)),2)))
```

```
disp("два входных, два выходных: " +
string(timeit(@()varargout_function(rand(500),rand(500)),2)))

disp("три входных, два выходных: " +
string(timeit(@()varargout_function(rand(500),rand(500),rand(500)),2)))
```

Так как воркспейс функции - это точно такой же воркспейс как и базовый, внутри функций можно применять методы для работы с воркспейсом, которые обсуждали ранее

Для примера можно использовать функцию exist (хотя есть более прозрачные способы гарантировать существование переменных)

```
help exist
```

```
function out = exist_check_fun(A,B,C)
% функция exist(variable_name,"var") проверяет существует ли переменная с именем variable_name
out = 0;
    if exist('A','var')
            out = out + A;
    end
    if exist('B','var')
            out = out + B;
    end
    if exist('C','var')
            out = out + C;
    end
end
```

```
exist_check_fun(9)
exist_check_fun(9,15)
exist_check_fun(9,15,16)
```

Поменяем содержимое файла функции **swap**

уберем из функции swap disp и who

```
% уберем из функции swap disp и who
functions_folder = fullfile(get_folder(),"functions_folder");
make_function(functions_folder,... % folder
                        "swap",... % function name
                        ["A" "B"],...% input arguments
                        ["A" "B"],...% output arguments
                        "C=A;A=B;B=C;")% function body
addpath(functions_folder)
```

```
[A,B] = swap("A","B")
```

Вложенные (nested) функции

Вложенные функции - это функции декларированные в теле функции.

Для них доступен воркспейс внешней функции, аргументы вложенной функции могут "затенять" аргументы внешней функции

```
function [A,B,nested_fun_handle] = external_fun(A,B)
     who
    nested_fun() % вызов вложенной функции (может быть в любом месте, вложенная функция - не скрипт,
хотя общие детали есть
    function nested_fun() % объявление вложенной функции
        disp("workspace вложенной функции")
        who % почему не работает второй xy?
        [A,B] = swap(A,B); % переменные во внешней функции для вложенной функции являются глобальными
    end
    nested_fun_handle = @nested_fun; % в качесвыходного аргумента возвращаем также указатель на
вложенную функцию
end
```

```
[A,B,nested_fun_handle] = external_fun("A","B") % работает!
```

Третий вид function_handle : nested

```
functions(nested_fun_handle)
% похоже на анонимную функцию, так как в ее воркспейспе сохраняется
% воркпейс внешней функции, окружение, в котором она должна работать
```

Мультивложенная функция

```
function [A,B] =multi_embedded_fun(A,B)
    embedded_fun()
    function embedded_fun()
        embedded_fun()
        function embedded_fun()
            embedded_fun()
            function embedded_fun()
                embedded_fun()
                function embedded_fun()
                    embedded_fun()
                    function embedded_fun()
                        embedded_fun()
                        function embedded_fun()
                            [A,B] = swap(A,B); % эта функция тоже знает переменные для внешней фунции
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end
end
```

```
[A,B] = multi_embedded_fun("A","B") % работает!
```

- Поставим breakpoint в редакторе кода функции swap
- Вызвать в командной строке матлаба функцию dbstack() -
- Подивиться на стэк!

```
timeit(@()swap("A","B"))
timeit(@()external_fun("A","B"))
timeit(@()multi_embedded_fun("A","B"))
```

В одном файле может быть несколько не вложенных функций

```
% файл two_fun_one_file.m

function B = two_fun_one_file(A)
    B = fun(A)
end
function B = fun(A)
    B = class(A)
end
```

```
B = two_fun_one_file("A")
```

Перемещение по стэку!

Выполнить функцию eval() в чужом воркспейсе - evalin(workspace, expression) % workspace может быть либо 'base' - базовый workspace, либо

```
help evalin
```

Как сломать функцию

```
function C = input_expression(expression)
    C = eval(expression)
    whos % тут переменная C существует
    caller_killer()
    whos % тут переменной C уже не существует, так как она почищена
end
```

Вторая функция имеет вид:

```
function caller_killer()
    evalin('caller','clearvars'); % чистит все переменные вызывающей функции (вверх по стеку!)
end
```

```
C = input_expression("rand(10)")
```

Присвоить перемнной заданного workspace значение, рассчитанное в данном воркспейс assignin(workspace,variable_name,value)

```
clearvars
```

```
assignin("base","newVar",whos)
newVar
```

Воркспейс функции после ее выполнения чистится, соответственно все переменные, которые не были возвращены вызывающей функции ('caller' вниз по стеку) будут стерты из памяти

```
function on_clean_up_check(expr,f_handle)
    on_clean_up_obj = onCleanup(f_handle);
    eval(expr);
    pause(5)

end
```

```
on_clean_up_check("disp('Начало работы')", @()disp('Очистка '))
```

```
on_clean_up_check("'", @()disp('Очистка ')) % функция onCleanup работает когда в
коде ошибка!
```

Рекомендуется всегда при работе при помощи функций с портами и низкоуровневыми функциями для записи в файл использовать

Хранение данных в памяти функции - persistent

По умолчанию, после выполнения кода функции, ее воркспейс чистится из памяти, но можно сделать так , чтобы чистился не полностью, это позволяет при последующих запусках функции уже иметь в ее **workspace** переменные, созданные при ее предыдущих вызовах, для этого в коде функции надо обозначить переменные аннотацией persistent.

```
function [y,p] = persistent_func(f,dx)
% функция сдвигает фазу аргумента функции f на величину dx
    persistent x % при первом пуске persistent переменная []
    persistent animated_Line axes_handle; % при первом пуске persistent переменная []
    if isempty(x)
        x =-dx; % обнуляем сдвиг в начальный момент
    end
    if isempty(animated_Line)
        axes_handle = axes(figure(10),"XTickMode","manual","YTickMode","manual","XLim",[0,2*pi],"YLim",
[-1 1]);
        animated_Line = animatedline(axes_handle,"Marker","o","LineStyle","none"); % animatedline -
создает линию, к которой можно добавлять точки поточечно
    end
    x=x+dx;
    y = f(x);
    addpoints(animated_Line,x,y);
    drawnow
end
```

```
dx = 0.1;
f = @sin;
for a=1:50
    persistent_func(f,dx); % в качестве аргументов в функцию передается только
функция и величина шага, значение координаты (x в коде функции) остается с
предыдущего вызова
    pause(0.2) % ждем пол секунды
end
```

```
clear persistent_func % содержимое persistent переменных чистится при помощи
функции clear имя_функции или clear('имя функции')
```

```
persistent_func(f,dx) % опять стартуем с нулевой координаты
```

Аннотация типов входных аргументов - блок arguments...end

Несмотря на то, что матлаб не требует объявления типов переменных (динамическая типизация) при написании функций, особенно тех, которые являются интерфейсом взаимодействия с "внешним миром", возникает необходимость создания большого числа проверок аргументов функций, чтобы избежать непредсказуемого поведения. Проверять приходится типы, размерность, принадлежность к определенному диапазону или набору значений и т.п.

В современном матлаб это можно делать при помощи блока **arguments...end**

Общие правила

```
arguments
argName1 (dimensions) class {validators} = defaultValue
...
argNameN ...
end
```

```
function out = annotated_arguments(A,B,C)
% Важно при написании функций делать к ним хорошую документацию.
% Блок arguments можно рассматривать как часть документации, так как информация о типах,
% структуре и области определения входных аргументов функции многое говорит о функции
    arguments
        A (1,1) {mustBeInteger,mustBePositive} % означает, что аргументы должен быть целым
        B (1,:) double % дополнительно указан тип аргумента, также размерность указана частично!
        C (1,1) string {mustBeMember(C,["sin" "cos" "tan"])} ="sin" %
    end
    out = repmat(transpose(B),[1 A]);
    fun_handle = str2func(C);
    for i = 1:A
        out = fun_handle(out);
    end
```

```
end
```

```
out = annotated_arguments(1.3,rand([10,2]),"ghj")
```

```
out = annotated_arguments(3,rand([10,2]),"ghj")
```

```
out = annotated_arguments(3,rand([10,1]),"ghj")
```

```
out = annotated_arguments(3,rand([10,1]),"sin")
```

```
out = annotated_arguments(3,linspace(-pi,pi,100),"cos")
```

```
livescript_helper= functions(@annotated_arguments).file
```

Использование блока arguments для создания аргументов типа name-value pair

```
% copy-paste code
function out = name_value_pairs(options)
% Важно при написании функций делать к ним хорошую документацию.
% Блок arguments можно рассматривать как часть документации, так как информация о типах,
% структуре и области определения входных аргументов функции многое говорит о функции
    arguments
        options.A (1,1) {mustBeInteger,mustBePositive} = 3 % означает, что аргументы должен быть целым
        options.B (1,:)  double {mustBeFromPitoPi} = linspace(-pi,pi,100) % дополнительно указан тип
аргумента, также размерность указана частично!
        options.C (1,1) string {mustBeMember(options.C,["sin" "cos" "tan"])} ="sin" %
    end
    out = repmat(transpose(options.B),[1 options.A]);
    fun_handle = str2func(options.C);
    for i = 1:options.A
        out = fun_handle(out);
    end
end
function mustBeFromPitoPi(x)
% самодельный валидатор
        try
            tf = (x<=pi)&&(x>=-pi);
        catch me %#ok<NASGU>
            tf = false;
        end

        if ~tf
            throwAsCaller(MException('MyComponent:noSuchVariable',"Value must be from -pi to pi"));
        end
end
```

```
cd(get_folder)
```

```
name_value_pairs("A",5)
```

Использование блока arguments для создание произвольного числа аргументов типа name-value pair

```
% copy-paste code
function out = repeating_name_value_pairs(name,value)
% Важно при написании функций делать к ним хорошую документацию.
% Блок arguments можно рассматривать как часть документации, так как информация о типах,
% структуре и области определения входных аргументов функции многое говорит о функции
    arguments (Repeating)
        name (1,1) string  % означает, что аргументы должен быть целым
        value (1,:) double  % дополнительно указан тип аргумента, также размерность указана частично!
    end
    out = cellstr(name) + "=" + string(cell2mat(value));
end
```

```
repeating_name_value_pairs("A",35)
repeating_name_value_pairs("A",35,"b",67)
repeating_name_value_pairs("A",35,"b",67,"C",78)
```

BONUS. Пишем простой оптимизатор методами функционального программирования

Для иллюстрации возможностей функционального программирования, далее опсиывается простой градиентный оптимизатор, с помощью которого можно находить минимум скалярных функций, в том числе решать задачи наименьших квадратов.

Немного теории. Что такое градиент функции:

$f(\vec{x})$ - скалярная функция векторного аргумента, где $\vec{x} \in R^n$ - вектор переменных оптимизации.

тогда градиент этой функции в пространстве R^n имеет вид :

$$\nabla f(\vec{x}) = \begin{matrix} \frac{\partial f}{\partial x_1} \\ \vdots \\ \frac{\partial f}{\partial x_n} \end{matrix}$$

Градиент - это вектор в пространстве R^n - это вектор, который указывает в сторону наибольшего возрастания функции $f(\vec{x})$.

Функция численного расчета для расчета градиента произвольной функции может иметь следующий код (по аналогии с численным расчетом производной выше):

```
% файл num_grad.m в корневой папке скрипта
function df = num_grad(f,x)
    % Простая функция для расчета градиента функции f,
    % переданной как указатель
```

```
    % аргументы:
    %       f - указатель на функцию
    %       x - координата,  в которой нужно посчитать df
    N = numel(x);
    x = x(:);
    dx = 50*eps;
    df = zeros([N 1]); % аллокация памяти под выходной вектор
    fx = f(x); % значение функции в точке x
    for ii=1:N
        p = x;
        p(ii) = p(ii) + dx;
        df(ii) = (f(p) -fx)/dx;
    end
end
```

Функция **num_grad** находится в файле **num_grad.m,** в той же папке, что и данный скрипт. Отличие от функции расчета производной, которая вводилась ранее, в том, что для расчета градиента мы варьируем отдельно каждую из координат (частная производная), которые затем складываем в один вектор (градиент скалярной функции).

Градиентный оптимизатор - это итерационный алгоритм, который движется в пространстве R^n от точке к точке, так что на кадом шаге итерации направление вектора перехода от точки к точки противоположно направлению градиента (то есть, направлению максимального возрастания функции). Поэтому $(i+1)$ координата в пространстве R^n выражается через предыдущую точку и градиент функции в виде:

$$\vec{x}_{i+1} = \vec{x}_i - \mu\hat{g}(\vec{x}_i),\ \text{где}\ \hat{g}(\vec{x}_i) = \frac{\nabla f(\vec{x}_i)}{||\nabla f(\vec{x}_i)||},$$

μ- скалярный параметры алгоритма (длина шага), который фиксирован (пока), вектор $\hat{g}(\vec{x}_i)$ - это вектор единичной длины вдоль градиента, таким образом, мы оставляем от градиента только его направление, длину шага определяет параметр μ.

Код простого оптимизатора показан ниже:

```
function [x,Fval,ii,flag,search_history]=grad_search(x0,F,gradF,options)
% простой оптимизатор методом градиентного поиска
% входные аргументы:
%                   x0 - стартовая точка
%                   F - указатель на скалярную функцию векторного аргумента
%                   gradF - указатель на функцию расчета градиента функции
%                           F
%                   Опциональные аргументы в формате имя-значение
%                   mu (optional)- амплитудный коэффициент, длина шага
%                   N (optional)- ограничение на число итераций
%                   tol (optional)- точность (относительное изменение для
%                   двух последовательных итераций)
% выходные аргументы:
%                   x - оптимальное значение вектора параметров оптимизации
%                   (минимизатор)
%                   Fval - значение функции для найденного минимизатора
%                   ii - число вычислений функции и ее градиента
%                   flag - флажок критериев сходимости
```

```
%                   search_history - матрица, у которой столбцы -
%                   координаты в пространстве оптимизации, по которым ходил
%                   алгоритм
%
    arguments
        x0 double
        F function_handle
        gradF function_handle
        options.mu (1,1) double =1e-2
        options.N (1,1) double =1000
        options.tol (1,1)double =1e-6
    end
    ii=1;
    x=x0(:);mu = options.mu;N = options.N;tol = options.tol;
    flag=[true true true];
    Fval=F(x0);
    is_return_search_history = false;
    if nargout==5 % так как хранение всех точек может быть тяжелым
        is_return_search_history =true;% если число выходных аргументов равно пяти, то значит нужно
сохранить историю
        search_history = NaN(numel(x),N);% резервируем память под все точки алгоритма
        search_history(:,1) = x0;
    end
    while ii<N && all(flag) % условием остановки служит достидение заданного числа итераций и проверка
сходимости
        x_previous=x;F_previous = Fval; % значения координанты и функции на предыдущей итерации
        grad_value = gradF(x); % рассчитываем градиент функции
        grad_norm = norm(grad_value);
        if grad_norm==0
            return
        end
        grad_direction = grad_value/norm(grad_value); % используем только направление градиента
        x= x - mu*grad_direction(:);% рассчитываем координату для следующей точки
        Fval=F(x); % рассчитываем значение функции для этой координаты
        if is_return_search_history
            search_history(:,ii+1) = x;% если нужны промежуточные точки - добавляем
        end
        % флажок проверки сходимости
        flag = [norm(Fval-F_previous)>tol ...%  изменение значения функции
            norm(x_previous-x)>tol ...
            grad_norm>tol]; %  изменение координаты
        ii=ii+1;
    end
    if is_return_search_history
        search_history = search_history(:,1:ii);
    end
end
```

Данный алгоритм очень прост, в цикле мы на каждой итерации рассчитываем градиент, нормируем его, оставляя только направление, и движемся вдоль градиента с простоянным шагом (**mu**). Критерием остановки цикла является либо достижение максимального числа итераций, либо когда изменение значения функции (Fval, Fval_previous), либо модуль шага переменных оптимизации (x,x_previous) для двух последовательных итераций меньше некоторого заданного значения (**tol**).

Следует отметить, что функция ***num_grad,*** в отличие от ***grad_search*** не имеет блока ***arguments...end***, это связано с тем, что так как она является частью итерационного алгоритма ее вызов производится большое количество раз, поэтому она не имеет функций для валидации аргументов. В данном случае мы следуем общему правилу выполнять проверки "на входе", то есть там, где происходит взаимодействие с "внешним миром". В данном случае входом являются входные аргументы функции ***grad_search*.** Так как наш оптимизатор универсальный, хочется, чтобы он работал с любыми входными функциями, мы четко определяем типы входных аргументов, а также присваиваем значения по умолчанию для опциональных аргументов.

Посмотрим как можно применять данные функции, вначале для одномерного поиска минимума скалярной функции:

```
addpath(get_folder());
F = @(x)sin(x); % ищем минимум данной функции
gradF = @(X) num_grad(F,X) % численный расчет градиента (функция численного расчета
градиента имеет два входных аргумента, в данном случае при создании анонимной
функции
```

```
gradF = function_handle with value:
    @(X)num_grad(F,X)
```

```
% gradF, мы передаем первый аргумент num_grad  - собственно функцию, мы
% передаем как параметр, то есть она хранится в workspace данной анонимной
% функции
[xval,fval,iternumber,outflag]=grad_search(-1,F,gradF,"mu",0.01)
```

```
xval = -1.5700
fval = -1.0000
iternumber = 58
outflag = 1×3 logical array
   1   1   1
```

```
xval/pi
```

```
ans = -0.4997
```

Можно поиграться с входными опциональными аргументами grad_search: **mu, N, tol**

Теперь решим задачу векторной оптимизации - будем минимизировать квадратичную невязку между измеренными значениями и рассчитанными:

$$F(\vec{x}) = \Sigma_k(y_i - f_i(\vec{x}))^2$$

$f_i(\vec{x}) = x_1 + x_2 t_i$, где $t_i = [0:10]$

y_i - "экспериментальные точки" дискретный набор точек, который мы хотим "зафитить" функцией $f(\vec{x}, t)$, данная функция зависит от двух переменных оптимизации и рассчитывается для каждого знаечния

независимой координаты t_i, скалярная функция $F(\vec{x})$ - скалярная функция - квадратичная невязка (сумма квадратов расхождений между измеренными значениями и рассчитываемыми).

```
x_true =[0.93; 0.67]; % вектор истинных значений параметров
t = linspace(0,10,10)'; % вектор независимых переменных
y = x_true(1) + x_true(2)*t;% истинные значения параметров оптимизации x_true
F = @(x)sum(((x(1) + x(2)*t) - y).^2); % воркпейс функции F содержит и
экспериментальные и измеренные точки
gradF = @(X) num_grad(F,X) % численный расчет градиента, воркспейс функции gradF
содержит и саму функцию F
```

```
gradF = function_handle with value:
    @(X)num_grad(F,X)
```

```
% запускаем оптимизатор
[xval,fval,iternumber,outflag]=grad_search([0.0 0.0],F,gradF,"mu",0.001,"N",5000)
```

```
xval = 2×1
    0.9256
    0.6711
fval = 1.4764e-04
iternumber = 1689
outflag = 1×3 logical array
   0   1   1
```

```
disp("Ошибка фиттинга:" + string(norm(x_true-xval)))
```

```
Ошибка фиттинга:0.0045431
```

Видно, что ошибка определения истинных значений имеет тот же порядок, что и длина шага (**mu**), если мы не уперлись в ограничение на число итераций (**N**).

```
% сделаем еще прогон, чтобы посмотреть как алгоритм ставит точки
mu=0.011;
[xval,~,~,~,search_history]=grad_search([0.3 1],F,gradF,"mu",mu,"N",200)
```

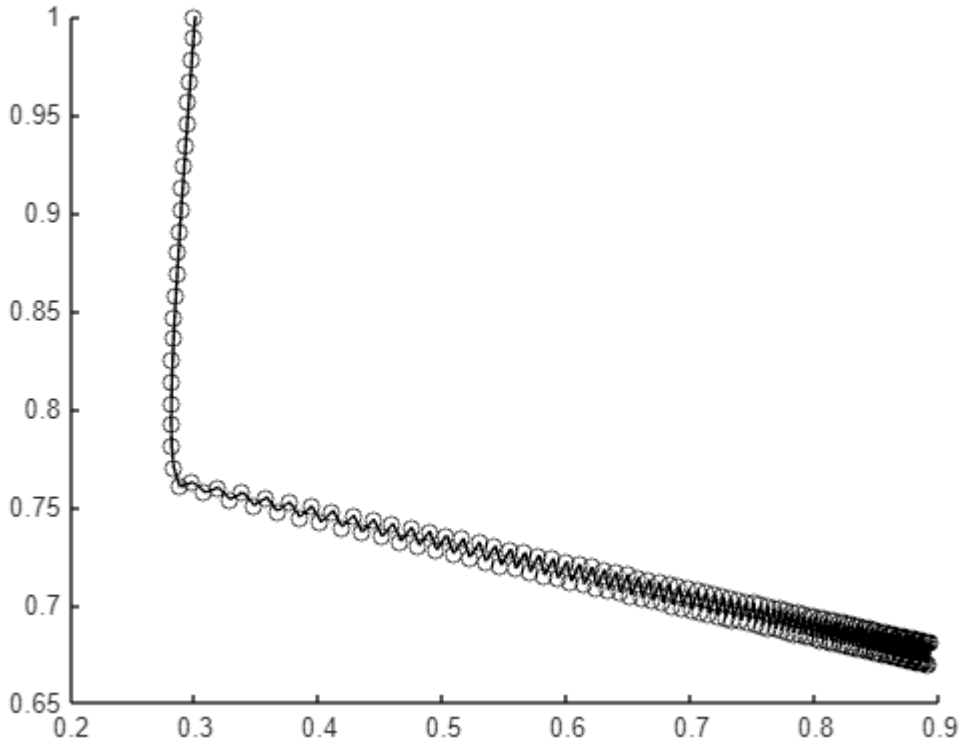
```
xval = 2×1
    0.8931
    0.6808
search_history = 2×200
    0.3000    0.2987    0.2974    0.2961    0.2949    0.2936    0.2924    0.2912 ···
    1.0000    0.9891    0.9782    0.9672    0.9563    0.9454    0.9344    0.9235
```

```
% построим анимацию шагов работы алгоритма
animated_Line = animatedline(get_next_ax(),'Marker',"o",'LineStyle',"-");
```

```
fig1
```

```
for ii=1:size(search_history,2)
    v = search_history(:,ii);
    addpoints(animated_Line,v(1),v(2))
    pause(0.1)
```

```
end
```

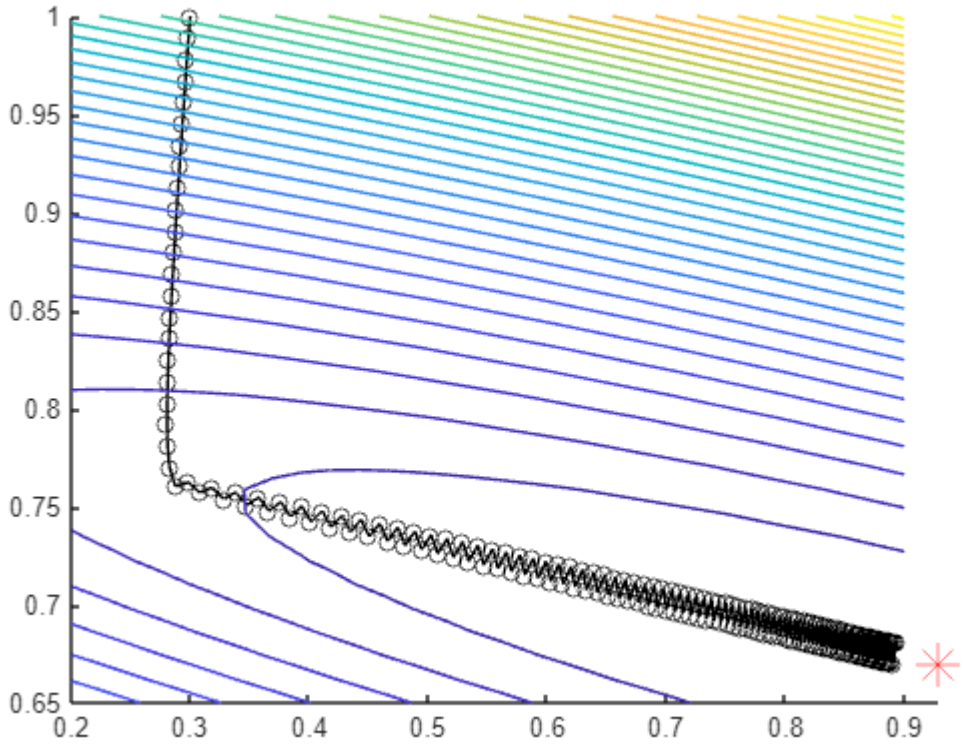


Интересно поварьировать величину шага при помощи слайдера!

```
% построим контурное изображение функции невязки (чтобы убедиться что
% градиент перпендикулярен линиям постоянного уровня)
ax = animated_Line.Parent;
x_lim = ax.XLim;
y_lim = ax.YLim;
Nx = 30;Ny = 30;
x_grid = linspace(x_lim(1),x_lim(2),Nx);
y_grid = linspace(y_lim(1),y_lim(2),Ny);
[X,Y] = meshgrid(x_grid,y_grid);
Z = zeros([Ny Nx]);
for iii=1:Ny
    for jjj = 1:Nx
        Z(iii,jjj) = F([x_grid(jjj) y_grid(iii)]);
    end
end
```

```
hold(ax,"on");
    plot(x_true(1),x_true(2),"r*","MarkerSize",16);
    contour(X,Y,Z,'LevelStep',1); % контурное изображение показывает линии
постоянного значения
```

```
hold(ax,"off");
```



Для функции выбранной в качестве целевой, алгоритм на каждом шаге идет практически в одном и том же направлении, величина градиента слабо меняется от итерации к итерации

Поэтому алгоритм работы оптимизатора целесообразно модифицировать таким образом, чтобы после расчета направления градиента, совершать несколько пробных шагов в направлении противоположном градиенту без пересчета собственно градиента.

Если происходит уменьшение значения функции на пробном шаге, то алгоритм должен развивать успех и пытаться искать оптимальное решение в том же направлении, не пересчитывая градиент заново, подобная стратегия называется линейным поиском (linesearch). Код нашего оптимизатора может быть модифицирован следующим образом:

```
function [x,Fval,ii,flag,search_history]=grad_search_linesearch(x0,F,gradF,options)
% простой оптимизатор методом градиентного спуска с линейным поиском
% параметры см GRAD_SEARCH
    arguments
        x0 double
        F function_handle
        gradF function_handle
        options.mu (1,1) double =1e-2
        options.N (1,1) double =10000
        options.tol (1,1)double =1e-6
        options.alfa (1,1) double {mustBeInRange(options.alfa,1e-4, 100)}=2 % коэффициент расширения
        options.beta (1,1) double {mustBeInRange(options.beta,1e-4, 100)}=0.5 % коэффициент сжатия
        options.tries (1,1) double {mustBeInteger, mustBePositive} = 10 % число пробных пристрелок
```

```
    end
    is_return_search_history = false;x=x0(:);mu = options.mu;N = options.N;tol =
options.tol;flag=[true true];alfa = options.alfa;beta = options.beta;
    tries = options.tries;
    if nargout==5 % так как хранение всех точек может быть тяжелым
        is_return_search_history =true;% если число выходных аргументов равно пяти, то значит нужно
сохранить историю
        search_history = NaN(numel(x),N+1);% резервируем память под все точки алгоритма
        search_history(:,1) = x0;
    end

    Fval=F(x0);ii=1;
    while ii<N && all(flag) % условием остановки служит достидение заданного числа итераций и проверка
сходимости
        x_previous=x;
        F_previous = Fval; % рассчитываем значение функции
        grad_value = gradF(x); % рассчитываем градиент функции
        grad_norm = norm(grad_value); % модуль градиента
        if grad_norm==0
            return
        end
        grad_direction = grad_value/grad_norm; % используем только направление градиента
        grad_direction = grad_direction(:);
        jj=0;% счетчик триальных итераций
        Fval_trial=Fval;% стартовые
        mu_trial = mu;
        while (jj<=tries)% в этом цикле производим варьирования длины шага вдоль градиента
                %x_previous_trial=x_trial;
                Ftrial_previous = Fval_trial; % сохраняем значения с предыдущего шага
                mu_trial_pervious = mu_trial;
                mu_trial = mu_trial*alfa;
                x_trial= x - mu_trial*grad_direction; % рассчитываем координату для следующей пробной
точки
                Fval_trial=F(x_trial);% рассчитываем значение функции для это пробной точки
                % флажок проверки сходимости, определяется изменением функции на
                % последовательных итерациях

                if is_return_search_history
                    search_history(:,ii+jj+1) = x_trial;
                end
                jj=jj+1;
                if Fval_trial<Ftrial_previous % произошло уменьшение

                else % произошло увеличение
                   mu_trial=mu_trial_pervious*beta;
                   break
                end
        end
        mu=mu_trial;
        x= x - mu*grad_direction;
        Fval=F(x);ii=ii+1;
        flag = [norm(Fval-F_previous)>tol ...
                    norm(x_previous-x)>tol ...
                    grad_norm>tol];

    end
    if is_return_search_history
```

```
            search_history = search_history(:,1:ii);
        end
    end
```

```
[xval,fval,iternumber,outflag,search_history]=grad_search_linesearch([0.0
0.0],F,gradF,"mu",1,"N",100,"alfa",2, "beta",0.5, "tries",15)
```

```
xval = 2×1
    0.9274
    0.6704
fval = 1.9913e-05
iternumber = 81
outflag = 1×3 logical array
   0   1   1
search_history = 2×81
         0    0.2879    0.2378    0.2520    0.1336    0.1716    0.1858    0.1894 ···
         0    1.9792    1.4809    1.2217    0.6119    0.6770    0.8206    0.7712
```

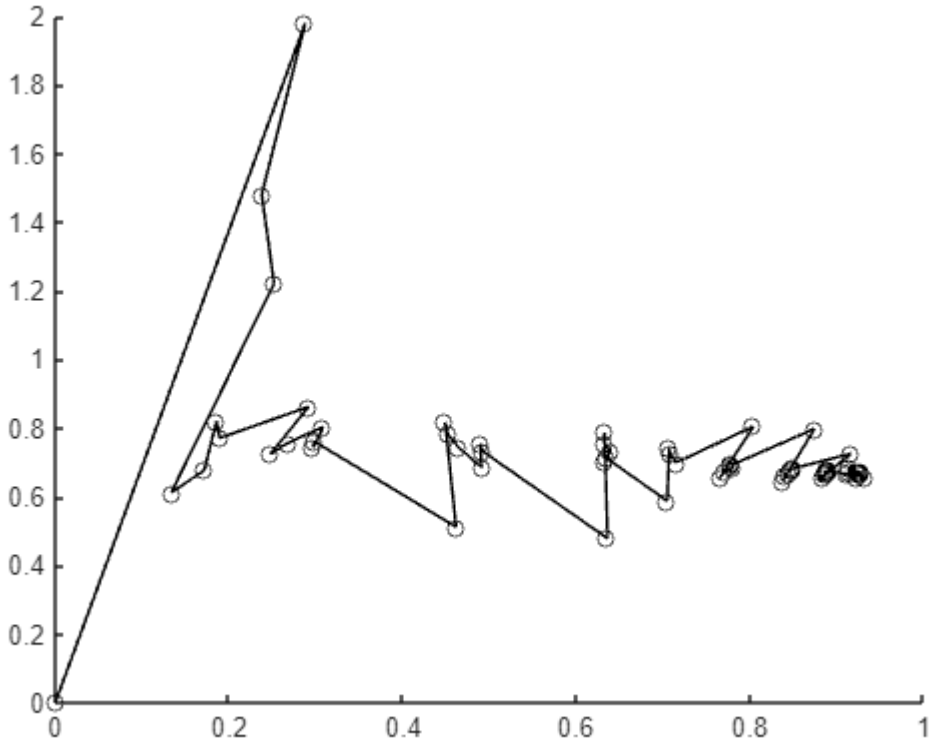
```
disp("Относительняа ошибка фиттинга:" + string(norm(x_true-xval)/norm(x_true)))
```

```
Относительняа ошибка фиттинга:0.0023079
```

```
% построим анимацию шагов работы алгоритма
animated_Line = animatedline(get_next_ax(),Marker="o",LineStyle="-");
```

```
fig1
```

```
for ii=1:size(search_history,2)
    v = search_history(:,ii);
    addpoints(animated_Line,v(1),v(2))
    pause(0.1)
end
```




```
% интересно поиграться в коде с параметрами alfa и beta, которые умножают
% шаг, и уменьшают шаг, в случае неудачи
```

Если посмотреть на выражение для триальной функции $F(\vec{x}_{i+1}) = F(\vec{x}_i - \mu\hat{g}(\vec{x}_i)),\ где\ \hat{g}(\vec{x}_i) = \frac{\nabla F(\vec{x}_i)}{||\nabla F(\vec{x}_i)||},$

как на функцию от параметра μ, то фактически мы имеем оптимизационую подзадачу, найти такое μ, которое давало бы минимальное значение функции:

$argmin(F(\mu)|_{\hat{g},\vec{x}_i})$ при фиксированных значениях $\hat{g}(\vec{x}_i)$ и $\vec{x}_i$. Приведенный ниже код оптимизатора решает эту подзадачу путем созданной выше функции ***grad_search_linesearch_numeric.m:***

```
function [x,Fval,ii,flag]=grad_search_linesearch_numeric(x0,F,gradF,options)
% простой оптимизатор методом градиентного поиска
% входные аргументы:
%                   x0 - стартовая точка
%                   F - указатель на скалярную функцию векторного аргумента
%                   gradF - указатель на функцию расчета градиента функции
%                           F
%                   Опциональные аргументы в формате имя-значение
%                   mu (optional)- амплитудный коэффициент, длина шага
%                   N (optional)- ограничение на число итераций
%                   tol (optional)- точность (относительное изменение для
%                   двух последовательных итераций)
    arguments
```

```
            x0 double
            F function_handle
            gradF function_handle
            options.mu (1,1) double =1e-2
            options.N (1,1) double =10000
            options.tol (1,1)double =1e-6
        end
        x=x0(:);mu = options.mu;N = options.N;tol = options.tol;flag=[true true];
        Fval=F(x0);ii=1;
        while ii<N && all(flag) % условием остановки служит достидение заданного числа итераций и проверка
    сходимости
            x_previous=x;
            F_previous = Fval; % рассчитываем значение функции
            grad_value = gradF(x); % рассчитываем градиент функции
            grad_norm = norm(grad_value);
            if grad_norm==0
                return
            end
            grad_direction = grad_value/grad_norm; % используем только направление градиента
            grad_direction = grad_direction(:);
            F_mu = @(mu_trial) F(x - mu_trial*grad_direction);% формулируем как указатель на функцию от
    длины шага
            gradF_mu = @(mu_trial) num_grad(F_mu,mu_trial);
            [mu,~,iter_number]=grad_search_linesearch(mu,F_mu,gradF_mu,"N",20); % используем оптимизатор с
    линейным поиском для решения подзадачи - оптимизации длины шага при фиксированном градиенте
            Fval = F_mu(mu);
            x = x - mu*grad_direction;
            ii=ii+iter_number;
            flag = [norm(Fval-F_previous)>tol ...
                norm(x_previous-x)>tol...
                grad_norm>tol];

        end
    end
```

```
[xval,Fval,ii,flag]=grad_search_linesearch_numeric([0.5
0.5],F,gradF,"mu",0.05,"N",1000)
```

```
xval = 2×1
    0.9287
    0.6702
Fval = 4.7730e-06
ii = 70
flag = 1×2 logical array
   0   1
```

```
disp("Ошибка фиттинга:" + string(norm(x_true-xval)))
```

```
Ошибка фиттинга:0.0012819
```

```
tic;x_direct=grad_search([0.5 0.5],F,gradF,"mu",0.05,"N",100);
direct_time = toc
```

```
direct_time = 0.0382
```

```
direct_error = norm(x_true-x_direct)
```

```
direct_error = 0.0887
```

```
tic;x_linesearch=grad_search_linesearch([0.5
0.5],F,gradF,"mu",0.05,"N",100,"alfa",2, "beta",0.5, "tries",15);
line_search_time  = toc
```

```
line_search_time = 0.0157
```

```
line_search_error = norm(x_true-x_linesearch)
```

```
line_search_error = 3.5202e-04
```

```
tic;x_linesearch_numeric=grad_search_linesearch_numeric([0.5
0.5],F,gradF,"mu",0.05,"N",100);
line_search_num_time = toc
```

```
line_search_num_time = 0.0369
```

```
linesearch_numeric_error = norm(x_true-x_linesearch_numeric)
```

```
linesearch_numeric_error = 0.0013
```

ПЕРЕД ВЫХОДОМ - ЗАПУСТИТЬ ЭТУ ЯЧЕЙКУ, ЧТОБЫ ПОЧИСТИТЬ ВРЕМЕННЫЕ ПАПКИ (УДАЛЯЮТСЯ ВСЕ ПАПКИ, ЛЕЖАЩИЕ В КОРНЕВОМ КАТАЛОГЕ)

```
dir_Struct = dir(get_folder());
is_dir = arrayfun(@(X)X.isdir,dir_Struct);
if any(is_dir)
    dir_Struct = dir_Struct(is_dir);
    folders_to_remove_names = arrayfun(@(X)string(X.name),dir_Struct);
    folders_to_remove_names = folders_to_remove_names(:);
    is_dir = folders_to_remove_names==["." ".."];
    is_dir = ~any(is_dir,2);
    if ~any(is_dir)
        clearvars
        return
    end
    dir_Struct = dir_Struct(is_dir);
    full_dirs = arrayfun(@(X) string(fullfile(X.folder,X.name)),dir_Struct);
    full_dirs = transpose(full_dirs(:));
    for d = full_dirs
        rmpath(d);
        rmdir(d,'s');
    end
end
```

```
Warning: "D:\mironov\matlab\matlab-seminars\basics\sem5_6\ccc" not found in path.
Warning: "D:\mironov\matlab\matlab-seminars\basics\sem5_6\gdg" not found in path.
```

ДАЛЬШЕ ИДЕТ БЛОК ФУНКЦИЙ

```
function folder = get_folder()
% функция смотрит какой файл открыт в редакторе в настоящий момент и
% возвращает путь к данному файлу
    folder = fileparts(matlab.desktop.editor.getActiveFilename);
end
function make_script(folder,name,varargin)
% функция создает текст скриптов и пишетего в файл
    arguments
        folder (1,1) string
        name (1,1) string
    end
    arguments (Repeating)
        varargin string
    end
    % формируем текст скрипта
        script1_text = string(varargin); % не будем пользоваться матлабовским
редактором файлов, так как он "слишком умный"
        if ~isfolder(folder)
            mkdir(folder)
        end
        % пишем текст скрипта в файл
        writelines(script1_text,fullfile(folder,name + ".m"));
end
function make_function(folder,name,input_args,output_args,varargin)
% функция создает текст функции и пишет его в файл
    arguments
        folder (1,1) string
        name (1,1) string
        input_args string
        output_args string
    end
    arguments (Repeating)
        varargin string
    end
    argin = cell(1,2+ numel(varargin));
    head = "function ";
    if ~isempty(output_args)
        head = head + "[" + join(output_args,",") + "] = ";
    end
    head =head + name;
    if isempty(input_args)
        head = head +"()";
    else
        head = head +"(" + join(input_args,",")+")";
```

```
    end
    argin{1} = head;
    argin(2:end-1) = varargin;
    argin{end} = "end";
    % формируем текст скрипта
    fun_text = string(argin); % не будем пользоваться матлабовским редактором
файлов, так как он "слишком умный"
    if ~isfolder(folder)
        mkdir(folder)
    end
    % пишем текст скрипта в файл
    writelines(fun_text,fullfile(folder,name + ".m"));
end
function code = read_code(fun_name)
    switch class(fun_name)
        case "string"
            filename = functions(str2func(fun_name)).file;
        case "function_handle"
            filename = functions(fun_name).file;
        otherwise
            code = '';
            return
    end
    if isempty(filename)
        code = fun_name;
        return
    end
    code = string(fileread(filename));
end
function varargout = varargout_function(varargin)
    % varargout  - тоже особое слово, в теле функции оно означает, что
    % данный массив ячеек возвращается как splat - функции
    disp(['Число входных аргументов: ' num2str(nargin)]);
    disp(['Число выходных аргументов: ' num2str(nargout)]);

    number_output_arguments = nargout; % особое слово, чтобы узнать число выходных
аргументов, находясь фнутри функции
    varargout = cell(1,number_output_arguments);
    for counter=1:numel(varargin)
        if counter>number_output_arguments
            return
        else
            varargout{counter}=svds(varargin{counter});
        end
    end
end
function out = ignore_arguments(x,~,~)
    out = sin(x);
end
function no_ignore_arguments(x,y,z) % аргументы фигурируют, но не игнорируются
```

```
    out = sin(x);
end
function [A,B] = call_handle(A,B,fun_handle)
    [A,B] = fun_handle(A,B);
end
function [A,B,nested_fun_handle] = external_fun(A,B)
     who
    nested_fun() % вызов вложенной функции (может быть в любом месте, вложенная
функция - не скрипт!
    function nested_fun() % объявление вложенной функции
        disp("workspace вложенной функции")
        who % почему не работает второй ху?
        [A,B] = swap(A,B); % переменные во внешней функции для вложенной функции
являются глобальными
    end
    nested_fun_handle = @nested_fun;
end
function [A,B] =multi_embedded_fun(A,B)
    embedded_fun()
    function embedded_fun()
        embedded_fun()
        function embedded_fun()
            embedded_fun()
            function embedded_fun()
                embedded_fun()
                function embedded_fun()
                    embedded_fun()
                    function embedded_fun()
                        embedded_fun()
                        function embedded_fun()
                            who
                            [A,B] = swap(A,B);
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end
end
function out = annotated_arguments(A,B,C)
    arguments
        A (1,1) {mustBeInteger,mustBePositive} % означает, что аргументы должен
быть целым
        B (1,:) double % дополнительно указан тип аргумента, также размерность
указана частично!
        C (1,1) string {mustBeMember(C,["sin" "cos" "tan"])} ="sin" %
    end
    out = repmat(transpose(B),[1 A]);
    fun_handle = str2func(C);
    for i = 2:A
```

```
        out(:,i) = fun_handle(out(:,i-1));
    end
end
% function out = name_value_pairs(options)
% % Важно при написании функций делать к ним хорошую документацию.
% % Блок arguments можно рассматривать как часть документации, так как информация о
типах,
% % структуре и области определения входных аргументов функции многое говорит о
функции
%     arguments
%         options.A (1,1) {mustBeInteger,mustBePositive} = 3 % означает, что
аргументы должен быть целым
%         options.B (1,:) double = linspace(-pi,pi,100) % дополнительно указан тип
аргумента, также размерность указана частично!
%         options.C (1,1) string {mustBeMember(options.C,["sin" "cos" "tan"])}
="sin" %
%     end
%     out = repmat(transpose(options.B),[1 options.A]);
%     fun_handle = str2func(options.C);
%     for i = 1:A
%         out = fun_handle(out);
%     end
% end
function C = input_expression(expression)
    C = eval(expression);
    whos
    caller_killer()
    whos
end
function caller_killer()
    evalin('caller','clearvars');
end

function C = assign_in_function(expression)
    C = eval(expression);
    whos
    assignin_internal_fun()
    whos
end
function assignin_internal_fun()
    evalin('caller','C=pi');
end
function [y,p] = persistent_func(f,dx)
% функция сдвигает фазу аргумента функции f на величину dx
    persistent x
    persistent animated_Line axes_handle; % при первом пуске persistent переменная
[]
    if isempty(x)
        x =-dx; % обнуляем сдвиг в начальный момент
    end
```

```
    if isempty(animated_Line)
        axes_handle
= axes(figure(10),"XTickMode","manual","YTickMode","manual","XLim",[0,2*pi],"YLim",
[-1 1]);
        animated_Line = animatedline(axes_handle,"Marker","o","LineStyle","none");
    end
    x=x+dx;
    y = f(x);
    addpoints(animated_Line,x,y);
    drawnow
end
function out = repeating_name_value_pairs(name,value)
% Важно при написании функций делать к ним хорошую документацию.
% Блок arguments можно рассматривать как часть документации, так как информация о
типах,
% структуре и области определения входных аргументов функции многое говорит о
функции
    arguments (Repeating)
        name (1,1) string  % означает, что аргументы должен быть целым
        value (1,:) double  % дополнительно указан тип аргумента, также размерность
указана частично!
    end
    out = cellstr(name) + "=" + string(cell2mat(value));
end
function out = exist_check_fun(A,B,C)
% функция exist(variable_name,"var") проверяет существует ли переменная с именем
variable_name
out = 0;
    if exist('A','var')
            out = out + A;
    end
    if exist('B','var')
            out = out + B;
    end
    if exist('C','var')
            out = out + C;
    end
end
function on_clean_up_check(expr,f_handle)
    on_clean_up_obj = onCleanup(f_handle);
    eval(expr);
    pause(5)

end
function [new_ax,fig_handle] = get_next_ax(index)
% функция, которая возвращает новые оси на новой фигуре
    arguments
        index = []
    end
    persistent N;
```

```
    if isempty(index)
        if isempty(N)
            N=1;
        else
            N  = N+1;
        end
        fig_handle = figure(N);
        clf(fig_handle);
        new_ax = axes(fig_handle);
        disp("fig"+ N)
    else
        fig_handle = figure(index);
        clf(fig_handle);
        new_ax = axes(fig_handle);
    end
end
```