Компьютерная математика II

Дисциплина для студентов 1-го курса специальности «Компьютерная математика и системный анализ» ММФ БГУ

Тема 6. Функциональное программирование в Python

доц. Лаврова О.А., кафедра дифференциальных уравнений и системного анализа (ауд. 329)

март, 2024

Python поддерживает три парадигмы программирования:

- процедурная парадигма (с помощью операторов)
- **функциональная парадигма** (композиция функций)
- объектно-ориентированная парадигма (с помощью пользовательских классов)

Функциональная парадигма — это подход к программированию, когда вычисления выполняются путем *комбинирования/композиции функций*, которые изменяют только переменные из локальной области видимости и не изменяют свои аргументы. При этом результатом выполнения функций являются только возвращаемые объекты без побочных эффектов во время выполнения функции.

Python поддерживает концепцию *функций высшего порядка*:

- функции могут принимать функции в качестве аргументов,
- функции могут возвращать функции в качестве результатов (например, фабричная функция, декоратор функции),
- функции могут быть элементами структур данных.

Инструменты функционального программирования получают большее распространение в коде на Python 3.x.

Инструменты функционального программирования:

1. Понятие объекта функции, `lambda` -функции
2. Механизм итераций; включения; *неявные* инструменты организации циклов на итерируемых объектах: функции-конструкторы `map` , `filter` , `enumerate` , `zip`
3. Модули `itertools` , `functools` из стандартной библиотеки
4. Фабричные функции, функции-замыкания
5. Декораторы функций

6.1 Функция-конструктор map

`map(func, *iterables) -> object of type map`

Для *отображения* значений используется функция `map` . Функция-конструктор `map` возвращает генераторный объект, который выдает результат вызова функции `func` со значениями аргументов, последовательно задаваемыми элементами итерируемых объектов из `iterables` .

Первый аргумент `func` функции `map` является *объектом функции*. Объект функции может соответствовать встроенной функции, `lambda` -функции или пользовательской функции на основе оператора `def`

In [1]:
```
map_object = map(ord, 'abcd'); print(map_object, list(map_object))
```

```
<map object at 0x00000208139D9870> [97, 98, 99, 100]
```

In [2]:
```
map_object = map(lambda x: x+10, range(10)); tuple(map_object)
```

Out[2]:
```
(10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19)
```

In [3]:
```
def f(x): return chr(x)
map_object = map(f, range(90,100)); set(map_object)
```

Out[3]:
```
{'Z', '[', '\\', ']', '^', '_', '`', 'a', 'b', 'c'}
```

При выполнении функции `map` реализуется протокол итераций для *одновременного* прохода по итерируемым объектам `iterables` . Функция `map` заканчивает выполнение, когда закончен проход по элементам для наименьшего по длине итерирумого объекта из `iterables`

In [4]:
```
list(map(pow, [1,2,3],(2,3)))
```

Out[4]:
```
[1, 8]
```

In [5]:
```
iterables =  [1,2,3],(2,3)
list(map((lambda x,y: pow(x,y)), *iterables))
```

Out[5]:
```
[1, 8]
```

Первый аргумент `func` функции `map` должен поддерживать вызов с n аргументами при указании n итерируемых объектов `iterables`

In [6]:
```
print(iterables)
list(map((lambda x,y: x+y), *iterables))
```

Out[6]:
```
([1, 2, 3], (2, 3))
[3, 5]
```

In [7]:
```
list(map(abs, *iterables))
```

```
---------------------------------------------------------------------------
TypeError                                 Traceback (most recent call last)
Cell In[7], line 1
----> 1 list(map(abs, *iterables))

TypeError: abs() takes exactly one argument (2 given)
```

Функция `map` выполняется со скоростью кода на языке C внутри интерпретатора, которая выше, чем скорость выполнения байт-кода циклов `for` внутри PVM

In [8]:
```
%timeit list(map(abs,range(-10**6,0))) # функциональный стиль
```

```
66.4 ms ± 3.1 ms per loop (mean ± std. dev. of 7 runs, 10 loops each)
```

In [9]:
```
%timeit [abs(x) for x in range(-10**6,0)] # питоновский стиль

res = []
%timeit for x in range(-10**6,0): res.append(abs(x)) # процедурный стиль
```

```
90.8 ms ± 5.16 ms per loop (mean ± std. dev. of 7 runs, 10 loops each)
85.6 ms ± 6.25 ms per loop (mean ± std. dev. of 7 runs, 10 loops each)
```

Выражения вызова функции `map` должны быть синтаксически простыми. Для более сложных задач применяйте операторы циклов `for` и `while` .

6.2 Функция-конструктор filter

```
filter(function or None, iterable) -> object of type filter
```

Для *фильтрации* значений используется функция `filter` . Функция-конструктор `filter` возвращает генераторный объект, который выдает только те элементы `elem` итерируемого объекта `iterable` , для которых вызов функции-предиката от элемента `funct(elem)` возвращает значение `True` . Другими словами, функция `filter` *фильтрует* элементы итерируемого объекта `iterable` на основе функции-предиката `function` .

Первый аргумент `funct` функции `filter` является объектом функции. Объект функции может соответствовать встроенной функции, `lambda` -функции или пользовательской функции на основе оператора `def`

In [10]:
```
gen_object = filter(str.isalpha, 'ab12'); print(gen_object, list(gen_object))
```

```
<filter object at 0x00000208139DB0A0> ['a', 'b']
```

In [11]:
```
gen_object = filter((lambda x: x%5==1), range(100)); tuple(gen_object)
```

Out[11]:
```
(1, 6, 11, 16, 21, 26, 31, 36, 41, 46, 51, 56, 61, 66, 71, 76, 81, 86, 91, 96)
```

In [12]:
```
def f(x): return bool(x)
gen_object = filter(f, range(-5,5)); set(gen_object)
```

Out[12]:
```
{-5, -4, -3, -2, -1, 1, 2, 3, 4}
```

Первый аргумент функции `filter` может быть объектом `None`. В этом случае функция `filter` возвращает генераторный объект, который выдает только те элементы итерируемого объекта `iterable`, булевское значение которых равно `True`

In [13]:
```
list(filter(None, (None, 0, [], {}, 5, '')))
```

Out[13]:
```
[5]
```

Альтернативный синтаксис с аналогичным результатом

In [14]:
```
list(filter(bool, (None, 0, [], {}, 5, '')))
```

Out[14]:
```
[5]
```

При выполнении функции `filter` реализуется протокол итераций для прохода по итерируемому объекту `iterable`.

Вместо функции `filter` можно использовать включения с условием

In [15]:
```
%timeit filter(str.isalpha, 'ab12') # функциональный стиль
%timeit (x for x in 'ab12' if str.isalpha(x)) # питоновский стиль
```

```
91.9 ns ± 10.3 ns per loop (mean ± std. dev. of 7 runs, 10,000,000 loops each)
478 ns ± 5.95 ns per loop (mean ± std. dev. of 7 runs, 1,000,000 loops each)
```

In [16]:
```
tuple(filter((lambda x: x>5), range(10))) # функциональный стиль
tuple(x for x in range(10) if x>5) # питоновский стиль
```

Out[16]:
```
(6, 7, 8, 9)
```

In [17]:
```
set(filter(None, range(-5,5))) # функциональный стиль
{x for x in range(-5,5) if bool(x)} # питоновский стиль
```

Out[17]:
```
{-5, -4, -3, -2, -1, 1, 2, 3, 4}
```

6.3 Функция-конструктор enumerate

```
enumerate(iterable, start=0) -> object of type enumerate
```

Функция-конструктор `enumerate` возвращает генераторный объект, который выдает кортежи из двух элементов. Первый элемент кортежа содержит индекс элемента итерируемого объекта `iterable` при индексации, начиная со значения аргумента `start` . Второй элемент кортежа содержит соответствующий элемент итерируемого объекта `iterable` . Аргумент `start` функции `enumerate` имеет стандартное значение `start=0` .

При выполнении функции `enumerate` реализуется протокол итераций для прохода по итерируемому объекту `iterable` .

In [18]:
```
list(enumerate("String"))
```

Out[18]:
```
[(0, 'S'), (1, 't'), (2, 'r'), (3, 'i'), (4, 'n'), (5, 'g')]
```

In [19]:
```
list(enumerate(range(-3,3), start=1))
```

Out[19]:
```
[(1, -3), (2, -2), (3, -1), (4, 0), (5, 1), (6, 2)]
```

Пример фрагмента кода для выполнения Задания 1.2 (Момент времени падения тела) из Л61

In [20]:
```
s_y = range(-10,10)
for (k,el) in enumerate(s_y):
    if el*s_y[k+1]<=0:
        break
k, s_y[k], s_y[k+1]
```

Out[20]:
```
(9, -1, 0)
```

Альтернативная реализация функции `enumerate` с помощью пользовательской генераторной функции

In [21]:
```
def my_enumerate(sequence, start=0):
    i = start
    for elem in sequence:
        yield i, elem
        i += 1

gen_object = my_enumerate(range(-3,3))
```

In [22]:
```
tuple(gen_object)
```

Out[22]:
```
((0, -3), (1, -2), (2, -1), (3, 0), (4, 1), (5, 2))
```

6.4 Функция-конструктор zip

`zip(*iterables) -> object of type zip`

Функция-конструктор `zip` возвращает генераторный объект, который генерирует *кортежи* из n элементов, где n -- количество итерируемых объектов `iterables` . Каждый элемент кортежа состоит из n соответствующих элементов итерируемых объектов `iterables`

In [23]:
```
gen_object = zip("String", range(10)); print(gen_object, list(gen_object))
```

```
<zip object at 0x0000020813F52400> [('S', 0), ('t', 1), ('r', 2), ('i', 3), ('n', 4), ('g', 5)]
```

При выполнении функции `zip` реализуется протокол итераций для прохода по итерируемым объектам `iterables` . Функция `zip` заканчивает выполнение, когда закончен проход элементов для наименьшего по длине итерирумого объекта из `iterables` .

Использование в конструкторе dict

Создание словаря из итерируемого объекта ключей и итерируемого объекта значений

In [24]:
```
D = dict(zip('abc',range(3)))
D
```

Out[24]:
```
{'a': 0, 'b': 1, 'c': 2}
```

Копирование словаря

In [25]:
```
D_copy = dict(zip(D.keys(),D.values()))
D_copy
```

Out[25]:
```
{'a': 0, 'b': 1, 'c': 2}
```

Использование в цикле for и включениях

Функция `zip` позволяет организовывать циклы `for` и включения с параллельным обходом нескольких итерируемых объектов

In [26]:
```
for (x,y,z) in zip(range(3), range(3), range(3)):
    print(x+y+z)

#list(map(lambda x,y,z: print(x+y+z), range(3), range(3), range(3)))
```

```
0
3
6
```

In [27]:
```
[f'a{x}{y}{z}' for (x,y,z) in zip(range(3), range(3), range(3))]
```

Out[27]:
```
['a000', 'a111', 'a222']
```

Пример использования функции `zip` с распаковкой

In [28]:
```
a = tuple(range(5)); b = tuple(range(5))
z = zip(a, b)
A, B = zip(*z)
A == a, B == b
```

Out[28]:
```
(True, True)
```

In [29]:
```
(a,b) == tuple(zip(*zip(a,b)))
```

Out[29]:
```
True
```

6.5 Функция reduce из модуля functools

In [30]:
```
import functools
```

In [31]:
```
print(functools.__doc__)
```

```
functools.py - Tools for working with functions and callable objects
```

Модуль `functools` предоставляет инструменты для работы с функциями.

Функция reduce

```
    reduce(func, iterable, initial) -> any object
```

Для накопления или *свертки* значений используется функция `reduce`. Функция `reduce` вызывает функцию *двух аргументов* `func` последовательно для каждого элемента итерируемого объекта `iterable`. При этом результат текущего вызова функции `func` используется в качестве *первого аргумента* для последующего вызова `func`. Аргумент `initial` является необязательным. Значение аргумента `initial` задает первый аргумент при первом вызове функции `func`.

In [32]:
```
func = lambda x, y: x+y
iterable = range(10)
functools.reduce(func, iterable)
```

Out[32]:
```
45
```

`reduce(func, iterable, initial)`

Значение аргумента `initial` задает *первый аргумент* при первом вызове функции `func`.

Пример вычисления факториала с помощью функции `reduce`

In [33]:
```
functools.reduce(lambda x, y: x*y, range(1,5), 1)
```

Out[33]:
```
24
```

Альтернативная реализация функции `reduce` с помощью пользовательской функции

In [34]:
```
def my_reduce(func, iterable, initial=None):
    it = iter(iterable)

    value = next(it) if initial is None else initial

    for x in it:
        value = func(value, x)

    return value

my_reduce(lambda x, y: x*y, range(1,5), 1)
```

Out[34]:
```
24
```

Иногда результат выполнения функции `reduce` можно получить другими средствами

In [35]:
```
%timeit functools.reduce(lambda x,y: x + y**2, range(1_000_000))
functools.reduce(lambda x,y: x + y**2, range(1_000_000)) # функциональный стиль
```

Out[35]:
```
116 ms ± 5.5 ms per loop (mean ± std. dev. of 7 runs, 10 loops each)
333332833333500000
```

In [36]:
```
%timeit sum(y**2 for y in range(1_000_000))
sum(y**2 for y in range(1_000_000)) # питоновский стиль
```

Out[36]:
```
114 ms ± 5.21 ms per loop (mean ± std. dev. of 7 runs, 10 loops each)
333332833333500000
```

In [37]:
```
import numpy as np
%timeit np.sum(np.arange(1_000_000)**2)
np.sum(np.arange(1_000_000)**2) # векторизация вычислений в питру
# !!!результат отличается от предыдущих вычислений
```

Out[37]:
```
2.81 ms ± 47.8 µs per loop (mean ± std. dev. of 7 runs, 100 loops each)
584144992
```

6.6 Фабричная функция, функция-замыкание

Если функция `funcOut` содержит внутри себя определение другой функции `funcIn` (оператор `def` или `lambda` -выражение), то функцию `funcOut` называют **объемлющей функцией**, а функцию `funcIn` – **вложенной функцией**. Уровней вложения функций может быть конечное число.

Фабричной функцией (function builder) будем называть объемлющую функцию, которая возвращает объект встроенной функции.

Результат вызова фабричной функции будем называть **функцией-замыканием** (closure), если вложенная функция использует локальные переменные объемлющей функции.

Пример определения фабричной функции `maker`

In [38]:
```
def maker(exponent):
    return lambda x: x**exponent
```

Создадим две функции-замыкания `closure2` и `closure3` из фабричной функции `maker`

In [39]:
```
closure2, closure3 = maker(2), maker(3)
closure2, type(closure2)
```

Out[39]:
```
(<function __main__.maker.<locals>.<lambda>(x)>, function)
```

Вызовем функции-замыкания

In [40]:
```
closure2(3), closure3(3)
```

Out[40]:
```
(9, 27)
```

Пример фабричной функции одного аргумента `sin_diff(dx)` , которая для заданного значения приращения dx переменной x определяет функцию-замыкание для приближенного вычисления производной от функции $\sin(x)$ по формуле:

$$f'(x) \approx \frac{\sin(x+dx)-\sin(x)}{dx}.$$

Определение фабричной функции

In [41]:
```
import numpy as np
def sin_diff(dx):
    assert dx != 0, 'dx не должно быть нулем'
    return lambda x: (np.sin(x+dx)-np.sin(x))/dx
```

Определение функций-замыканий для различных значений dx

In [42]:
```
closures = [sin_diff(dx) for dx in (0.1, 0.3, 0.5)]
```

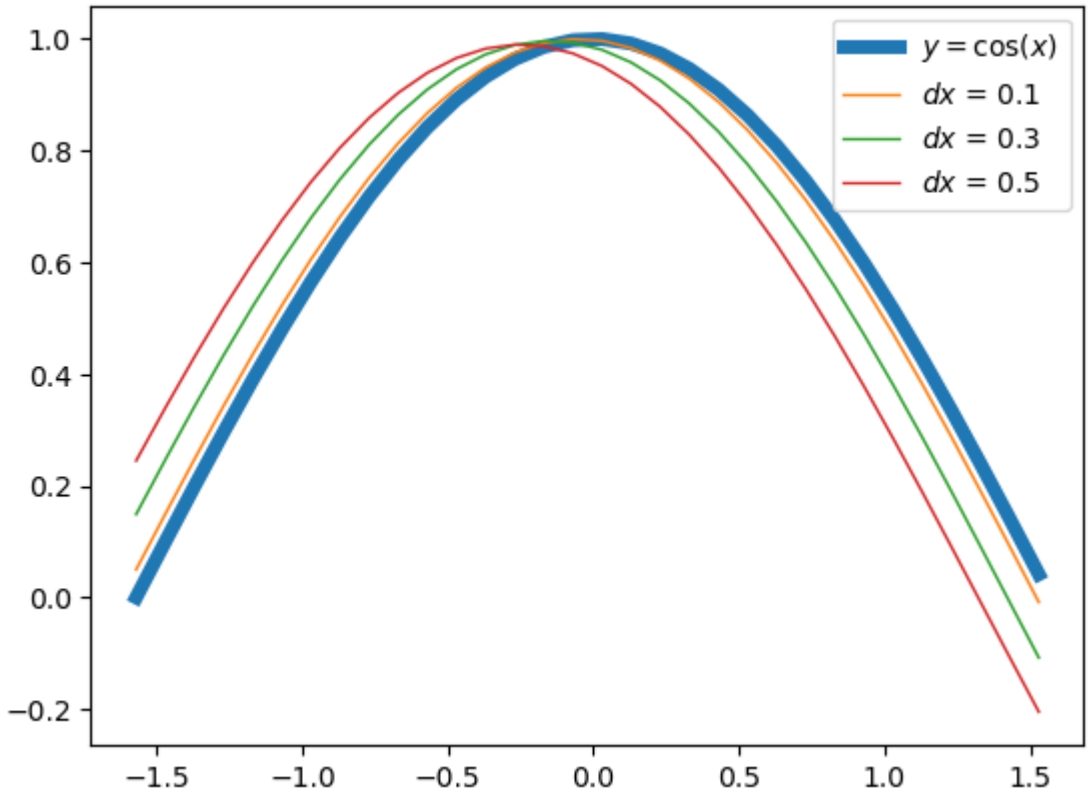
Изобразим в одной графической области графики функций приближений для производной от функции $\sin(x)$, а также функцию производной $\cos(x)$

In [43]:
```
import matplotlib.pyplot as plt

x = np.arange(-np.pi/2, np.pi/2, 0.1)
y = np.transpose(np.array([closure(x) for closure in closures]))
```

In [44]:
```
plt.plot(x, np.cos(x), lw=5)
plt.plot(x, y, lw=1)
plt.legend(['$y = \cos(x)$','$dx$ = 0.1','$dx$ = 0.3','$dx$ = 0.5'])
```

Out[44]:
```
<matplotlib.legend.Legend at 0x208b116f710>
```



Объект функции-замыкания может использовать локальные переменные из пространства имен фабричной функции после окончания выполнения фабричной функции!

Пример определения функции-замыкания со счетчиком вызовов функции. Переменная счетчика `n` создается в пространстве имен фабричной функции `maker` и *изменяется* при вызове функции-замыкания

In [45]:
```
def maker(start):
    n = start
    def funcIn(x):
        nonlocal n # !!!
        n += 1
        return n, x
    return funcIn
```

In [46]:
```
def maker(start):
    n = start
    def funcIn(x):
        nonlocal n # !!!
        n += 1
        return n, x
    return funcIn
```

Объявление `nonlocal` в теле вложенной функции для переменных объемлющих функций позволяет *изменять* значения этих переменных в теле вложенной функции.

Вызов фабричной функции `maker` возвращает функцию-замыкание

In [47]:
```
closure = maker(0)
closure
```

Out[47]:
```
<function __main__.maker.<locals>.funcIn(x)>
```

In [48]:
```
closure('first'), closure('second')
```

Out[48]:
```
((1, 'first'), (2, 'second'))
```

Новый вызов фабричной функции создаст новое пространство имен фабричной функции и, как следствие, переопределение счетчика

In [49]:
```
closure_new = maker(0); closure_new('new')
```

Out[49]:
```
(1, 'new')
```

6.7 Декоратор функции

Декоратор функции -- это функция, создающая обертку (wrapper) другой функции. Цель декоратора -- расширить поведение заданной функции без изменения ее кода.

Декоратор функции в Python -- это инструмент, который позволяет реализовать с минимальным и читабельным синтаксисом следующую ситуацию: определение функции, которая принимает другую функцию в качестве аргумента, расширяет функциональность переданной функции дополнительным кодом до и после ее вызова без изменения кода переданной функции и возвращает измененную функцию (обертку) в качестве результата.

Пример определения функции декоратора `funcOut` для декорируемой функции `my_func`

In [50]:
```
def funcOut(func):
    def wrapper(*args, **kwargs):
        print(f'Calling {func.__name__}()')
        func(*args, **kwargs)
        print(f'Done {func.__name__}()')
    return wrapper

def my_func():
    print('function is working ...')

my_func = funcOut(my_func) # создание декорированной версии my_func
my_func()
```

```
Calling my_func()
function is working ...
Done my_func()
```

Альтернативная реализация с использованием специального синтаксиса: `@<имя функции декоратора>` перед определением декорируемой функции

In [51]:
```
@funcOut
def my_func():
    print('function is working ...')

# my_func = funcOut(my_func) # этот код выполняется автоматически
my_func()
```

```
Calling my_func()
function is working ...
Done my_func()
```

In [52]:
```
help(my_func)
```

```
Help on function wrapper in module __main__:

wrapper(*args, **kwargs)
```

Пример декоратора для измерения времени выполнения функции

In [53]:
```python
from time import time

def executiontime(func):
    def wrapper(): # обертка
        start = time()
        func()
        end = time()
        print(f'Функция {func} выполнялась: {end - start} сек')
    return wrapper

@executiontime
def create_tuple():
    return tuple(range(10**7))

create_tuple()
```

```
Функция <function create_tuple at 0x00000208139CED40> выполнялась: 0.30236291885375
977 сек
```

Декораторы функций позволяют сократить повторяющийся код до и после вызова функций.