

Занятие 7: Итераторы и генераторы

Практикум на ЭВМ 2020/2021

Александр Чернышёв

МГУ имени М. В. Ломоносова, факультет ВМК, кафедра ММП

11 октября 2021 г.

Введение

Сколько памяти расходуется при выполнении?

```
>>> import numpy as np
>>> list_of_numbers = np.arange(0, 10 ** 8)
>>> sum = 0
>>> for item in list_of_numbers:
...     sum += item
```

Введение

Сколько памяти расходуется при выполнении? ($O(n)$)

```
>>> n = 10 ** 8
>>> list_of_numbers = np.arange(0, n)
>>> sum_numbers = 0
>>> for item in list_of_numbers:
...     sum_numbers += item
```

Существует реализация с памятью $O(1)$:

```
>>> item, sum_numbers = 0, 0
>>> while item < n:
...     sum_numbers += item
...     item += 1
```

Ещё одна реализация с памятью $O(1)$:

```
>>> sum_numbers = 0
>>> for item in range(0, n):
...     sum_numbers += item
```

Семантика оператора for

```
>>> for elem in elem_collection:
...     do_something(elem)
```

Концептуально такой цикл `for` делает следующее:

```
>>> it = iter(elem_collection) # инициализация
>>> while True:
...     try:
...         elem = next(it) # получить следующий элемент
...     except StopIteration: # если элементов больше нет
...         break
...     do_something(elem)
```

Метод `__iter__`

Метод `__iter__` должен вернуть экземпляр класса, который будет реализовывать протокол итераций, например `self`.

По сути, это перегрузка встроенной обобщённой функции `iter`.

Примеры использования функции `iter`:

```
>>> my_list = [0, 1, 2]
>>> iter(my_list)
<list_iterator at 0x7f866bacdf28>
>>> my_list.__iter__()
<list_iterator at 0x7f8763166710>
>>> x = 1
>>> iter(x)
TypeError: 'int' object is not iterable
```

Метод `__next__`

Метод `__next__` возвращает следующий по порядку элемент итератора. Если такого элемента нет, то метод должен поднять исключение `StopIteration`.

Считается, что если элемент поднял `StopIteration`, то все следующие тоже поднимут это исключение!

По сути, это перегрузка встроенной обобщённой функции `next`.

Примеры использования функции `next`:

```
>>> my_list = [0, 1, 2]
>>> it = iter(my_list)
>>> next(it)
0
>>> it.__next__() # то же самое, что next(it)
1
>>> next(my_list)
TypeError: 'list' object is not an iterator
```

Протокол итераций и итератор

Протокол итераций (протокол итераторов, `iterator protocol`) заключается в концепции итерирования по контейнерам с помощью методов `__iter__` и `__next__`

Итерируемое (`iterable`) — то, что имеет метод `__iter__`

Итератор (`iterator`) — то, что имеет методы `__iter__` и `__next__`, т.е. поддерживает протокол итераций

Пример написания своего итератора

```
>>> class MyFile:
...     def __init__(self, file_name):
...         self.file_name = file_name
...
...     def __iter__(self):
...         self.file = open(self.file_name, 'r')
...         return self
...
...     def __next__(self):
...         new_line = self.file.readline()
...         new_line = new_line.lower()
...         if new_line == '':
...             self.file.close()
...             raise StopIteration
...         return new_line
```

Зачем это может быть нужно?

Особенности iter и next

Другая форма вызова `iter`: принимает функцию и значение, вызывает функцию, пока она не вернёт это значение

```
>>> with open('my_file.txt', 'r') as input:
...     for line in iter(input.readline, ""):
...         print(line)
```

Для функции `next` можно вторым аргументом указать значение, которое необходимо вернуть в случае исключения:

```
>>> next(iter([]), 153)
153
```

Протокол итераций и `__getitem__`

Напоминание: `__getitem__` возвращает элемент по индексу либо поднимает `IndexError`, если элемента нет

Если реализован метод `__getitem__`, протокол итераций будет реализован автоматически

```
>>> class MyList:
...     def __init__(self, *args):
...         self.list = list(args)
...
...     def __getitem__(self, i):
...         return self.list[i]
...
>>> for elem in MyList(1, 2):
...     print(elem)
1
2
```

Как реализован протокол итераций исходя из примера?

Протокол итераций и `__getitem__`

Пример, когда итератор будет работать некорректно:

```
>>> class MyDict:
...     def __init__(self, **kwargs):
...         self.dict = dict(kwargs)
...
...     def __getitem__(self, i):
...         return self.dict[i]
...
>>> for elem in MyDict(a=1, b=2):
...     print(elem)
KeyError: 0
```

Протокол итераций и `__contains__`

Напоминание: `__contains__` возвращает `True` если переданный элемент содержится в экземпляре (перегрузка `in` и `not in`)

Если класс реализует протокол итераций, метод `__contains__` реализуется автоматически «следующим образом»:

```
>>> class SomeClass:
...     # это реализуется автоматически
...     def __contains__(self, target_elem):
...         for elem in iter(self):
...             if target_elem == elem:
...                 return True
```

Пример для `MyList`:

```
>>> 2 in MyList(1, 2, 3, 4)
True
```

Генераторы

Генератор — это функция, которая использует не только оператор `return`, но и оператор `yield`

В результате выполнения оператора `yield` работа функции приостанавливается, а не прерывается, как при использовании оператора `return`

Любой генератор — итератор, обратное неверно

```
>>> def f():  
...     print("Start")  
...     x = 17  
...     yield x  
...     yield x + 1  
...     print("Done")
```

Пример работы генератора

```
>>> def f():  
...     print("Start")  
...     x = 17  
...     yield x  
...     yield x + 1  
...     print("Done")
```

```
>>> type(f)  
<class function>  
>>> gen = f()  
>>> type(gen)  
<class generator>  
>>> next(gen)  
Start  
17
```

```
>>> next(gen)  
18  
>>> next(gen)  
Done  
StopIteration:
```

Пример генератора: unique

```
>>> def unique(iterable, seen=None):
...     seen = set(seen or [])
...     for item in iterable:
...         if item not in seen:
...             seen.add(item)
...             yield item
...
>>> sequence = [1, 1, 2, 3]
>>> unique(xs)
<generator object unique at 0x7f87609ccc50>
>>> for elem in unique(xs):
...     print(1)
1
2
3
```

Пример генератора: chain

```
>>> def chain(*iterables):  
...     for iterable in iterables:  
...         for item in iterable:  
...             yield item  
  
>>> xs = range(3)  
>>> ys = [42]  
>>> chain(xs, ys)  
<generator object chain at 0x10311d708>  
>>> list(chain(xs, ys))  
[0, 1, 2, 42]  
>>> 42 in chain(xs, ys)  
True
```


Переиспользование генератора

Генераторы, как и любые итераторы, истощаются:

```
>>> def f():  
...     yield 42  
...  
>>> gen = f()  
>>> list(gen)  
[42]  
>>> list(gen)  
[]
```

Не надо переиспользовать генераторы!

Генератор — способ задания итератора

```
>>> def my_file(file_name):  
...     file_obj = open(file_name, 'r')  
...     for new_line in file_obj:  
...         new_line = new_line.lower()  
...         if new_line != '':  
...             yield new_line  
...     else:  
...         file_obj.close()
```

Генераторные выражения

Генераторное-выражение:

```
>>> gen = (x ** 2 for x in range(0, 5))
>>> gen
<generator object <genexpr> at 0x7f87609d7308>
>>> list(gen)
[0, 1, 4, 9, 16]
```

Генераторы списков, словарей множеств не являются генераторами!

Оператор `yield from`

Оператор `yield from` позволяет делегировать выполнение другому генератору:

```
>>> def f():  
...     yield 1  
...     yield 2  
...  
>>> def g():  
...     s = f()  
...     yield from s  
...  
>>> list(g())  
[1, 2]
```

Продвинутое использование генераторов

Генераторы не так просты как кажутся

Продвинутые методы работы с генераторами:

- ▶ Можно передать в генератор исключение и поднять его в месте, где генератор приостановил исполнение (`.throw`)
- ▶ Можно передавать в генератор свои значения (`.send`)
- ▶ Можно «закрыть» генератор, передав ему специальное исключение (`.close`)

Подробности можно узнать здесь:

<https://compscicenter.ru/courses/python/2015-autumn/classes/1542/>

<http://dabeaz.com/coroutines/Coroutines.pdf>

range

`range` возвращает итерируемый объект `range object`
(не итератор!)

```
>>> my_range = range(0, 5)
>>> my_range
range(0, 5)
>>> next(my_range)
TypeError: 'range' object is not an iterator
>>> iter(my_range)
<range_iterator at 0x7f8780179240>
>>> next(iter(my_range))
0
```

`range` при любых аргументах требует константный объём памяти

В Python2 аналог `range` — `xrange`

zip

`zip` возвращает итератор

```
>>> my_list_1 = [1, 2]
>>> my_list_2 = ['a', 'b']
>>> my_tuples = zip(my_list_1, my_list_2)
>>> my_tuples
<zip at 0x7f8769928e08>
>>> iter(my_tuples)
<zip at 0x7f8769928e08>
>>> next(my_tuples)
(1, 'a')
>>> next(my_tuples)
(2, 'b')
>>> next(my_tuples)
StopIteration:
```

enumerate

`enumerate` возвращает итератор

```
>>> my_list = ['a', 'b', 'c']
>>> it = enumerate(my_list)
>>> it
<enumerate at 0x7f87609c6360>
>>> next(it)
(0, 'a')
```


map

`map(func, sequence1, sequence2 ...)` возвращает итератор, состоящий из результатов применений функции `func` к элементам `sequence1, sequence2`

- ▶ `func` — функция, которая применяется к каждому элементу `sequence`
- ▶ `sequence1, sequence2 ...` — итераторы

```
>>> it = map(lambda x: x * 2, [0, 1, 2, 3])
```

```
>>> list(it)
```

```
[0, 1, 4, 9]
```

```
>>> it = map(lambda x, y: x + y, [0, 1, 2, 3], [10, 100, 500])
```

```
>>> list(it)
```

```
[10, 101, 502]
```

filter

`filter(func, sequence)` возвращает итератор, состоящий из элементов `sequence`, для которых `func` вернула `True`

```
>>> it = filter(lambda x: x > 0, [0, -1, 2, -3, 5])
>>> list(it)
[2, 5]
```

И `filter`, и `map` можно проще записать через генераторы списков!

reduce

`reduce(func, sequence)` — кумулятивное применение функции `func` к элементам последовательности `sequence`

```
>>> from functools import reduce
```

```
...
```

```
>>> # ((1*2)*3)*4
```

```
>>> it = reduce(lambda x, y: x * y, [1, 2, 3, 4])
```

```
>>> it
```

```
24
```

```
>>> it = reduce(lambda x, y: '({}*{})'.format(str(x), str(y)),  
                [1, 2, 3, 4])
```

```
((1*2)*3)*4)
```

Соединение и повторение итераторов

Написанная нами chain есть в itertools:

```
>>> from itertools import chain
>>> it1 = iter([1,2,3])
>>> it2 = iter([4,5])
>>> list(chain(it1, it2))
[1, 2, 3, 4, 5]
```

repeat для создания итератора повторяющейся последовательности:

```
>>> from itertools import repeat
>>> b = []
>>> for i in repeat([1, 2], 4):
...     b.append(i)
>>> print (b)
[1, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2]
```

Бесконечные итераторы

```
from itertools import count # бесконечный range
c = []
for i in count(0, 5):
    c.append(i)
    if i > 20:
        break
print(c)
[0, 5, 10, 15, 20, 25]

>>> from itertools import cycle # бесконечный повтор
>>> d = []                       # последовательности
>>> it = cycle([1,2,3])
>>> for i, j in enumerate(it):
...     if i > 6:
...         break
...     d.append(j)
>>> print(d)
[1, 2, 3, 1, 2, 3, 1]
```

Срезы и взятие частей

Срез для произвольного итератора:

```
>>> from itertools import islice
>>> e = islice(range(10), 0, 8, 2)
>>> list(e)
[0, 2, 4, 6]
```

Выбрасывать из итератора элементы, пока не найдётся элемент, удовлетворяющий условию:

```
>>> from itertools import dropwhile
>>> f = dropwhile(lambda x: x < 5, range(10))
>>> print(list(f))
[5, 6, 7, 8, 9]
```

Комбинаторные итераторы

```
>>> from itertools import permutations
>>> it = permutations("YN")
>>> print (list(it))
[('Y', 'N'), ('N', 'Y')]
```

```
>>> from itertools import combinations
>>> it = combinations("ABC", 2)
>>> print (list(it))
[('A', 'B'), ('A', 'C'), ('B', 'C')]
```

```
>>> from itertools import product
>>> it = product("AB", repeat=2)
>>> print (list(it))
[('A', 'A'), ('A', 'B'), ('B', 'A'), ('B', 'B')]
```

Итераторы в задачах с данными большого объёма

Итераторы могут быть полезны в ситуациях, когда хранить всю выборку в памяти невозможно

Алгоритм работы:

1. Сохранить данные на жёстком диске в хорошем формате
2. Написать итератор, считывающий данные неполностью и преобразующий их в вектора
3. Обучать алгоритм по батчам данных

Варианты применения итераторов в data science

- ▶ Работа с огромной текстовой коллекцией (коллекцией изображений, и т.д.)
- ▶ Изменение порядка подачи объектов на обучение
- ▶ Быстрая генерация из сложных объектов более простых (например, по тексту генерируем пары предложений)

Заключение

- ▶ Итераторы позволяют не хранить одновременно в памяти все значения последовательности
- ▶ Итераторы можно задавать с помощью описания специальных методов `__iter__` и `__next__` или декларативно с помощью генераторов
- ▶ Многие операции с операторами уже реализованы в библиотеке `itertools` либо средствами `itertools` их можно реализовать проще
- ▶ Итераторы необходимо применять тогда, когда невозможно хранить весь объём данных в памяти