

Некоторые вопросы программирования на языке Python и приемы работы со специализированными библиотеками

Содержание

1	Терминология	3
2	Соглашения по именованию классов, функций и переменных	4
3	Приемы работы с пакетом Nox	4
3.1	Общий шаблон	4
3.2	Запуск тестов в мультисредах Python	7
3.3	Nox как утилита командной строки	7
4	Приемы работы с pip	8
5	Приемы работы с пакетом Click	8
6	Аннотация типов	10
6.1	Вариантность в типах Callable	11
6.2	Аннотирование чисто позиционных и вариadicеских параметров	12
7	Приемы работы с httpx	13
7.1	Установка	13
7.2	Get-запрос	13
8	Приемы работы с pytest	14
8.1	Особенности импорта	14
9	Ошибка ValueError: generator already executing в многопоточных приложениях с генераторами	15
10	Раскраска ячеек в Jupyterlab	15
11	Разреженные матрицы LIL и CSC	16
12	Метод __repr__ и модуль inspect	16
13	Интерфейсы, протоколы и ABC	17
13.1	Гусиная типизация	19
13.2	Статические протоколы	20
14	Итераторы, генераторы и классические сопрограммы	22
15	Замечание о хвостовой рекурсии в Python	26

16 Модели конкурентности в Python	26
16.1 Где находятся будущие объекты?	29
17 Асинхронное программирование	30
17.1 Асинхронные менеджеры контекста	32
17.2 Асинхронные итераторы и итерируемые объекты	33
17.3 Асинхронные генераторные функции	33
18 Метапрограммирование	33
18.1 Дескрипторы атрибутов	35
18.2 Переопределяющие и непереопределяющие дескрипторы	38
18.3 Советы по использованию дескрипторов	38
18.4 Основы метаклассов	39
19 Замечание о пользовательских пакетах	39
20 Инвариантность, ковариантность и контрвариантность	41
20.1 Обзор инвариантности	42
20.1.1 Инвариантные типы	42
20.1.2 Ковариантные типы	42
20.2 Контравариантные типы	43
20.2.1 Эвристические правила вариантности	43
21 Передача параметров и возвращаемые значения	43
22 Значения по умолчанию изменяемого типа: неудачная мысль	44
23 Сопоставление с последовательностями-образцами	44
24 Правила видимости в функциях	45
25 Функции как объекты и замыкания	46
26 Типизация	47
27 Модули, пакеты и дистрибутивы	49
27.1 Создание отдельных каталогов с кодом для импорта под общим пространством имен	53
28 Некоторые приемы	54
28.1 Вычисления со словарями	54
28.2 Удаление дубликатов из последовательности	55
28.3 Сортировка списка словарей по общему ключу	56
28.4 Отображение имен на последовательность элементов	56
29 Строки и текст	57
29.1 Разрезание строк различными разделителями	57
30 Профилирование и замеры времени выполнения	57

31 Итераторы и генераторы	59
32 Захват переменных в анонимных функциях	60
33 Передача дополнительного состояния с функциями обратного вызова	61
34 Использование лениво вычисляемых свойств	61
35 Определение более одного конструктора в классе	63
36 Класс загрузчик данных	65
37 Параметрические декораторы	66
38 Пользовательские исключения	66
39 Определение декоратора, принимающего необязательный аргумент	67
40 Параллельное программирование	68
40.1 Пример использования пула потоков	69
40.2 Процессы, потоки и GIL в Python	70
40.3 Глобальная блокировка интерпретатора	71
41 Проверка существования путей в <code>dataclass</code>	72
42 Приемы работы с библиотекой <code>SPyQL</code>	72
43 Приемы работы с библиотекой <code>Pandas</code>	73
43.1 Общие замечания	73
43.2 Советы по оптимизации вычислений	74
43.3 Рецепты	75
43.3.1 Приемы работы с кадрами данных	75
43.3.2 Изменение настроек отдельной линии графика на базе кадра данных	80
43.3.3 Использование регулярных выражений и обращений по имени группы при обработке строк	80
43.3.4 Работа с JSON. Комбинация <code>explode</code> и <code>pd.json_normalize</code>	80
43.3.5 Кратная подстановка столбца	81
43.3.6 Сборка строк группы в список словарей	81
Список литературы	82

1. Терминология

Любой элемент данных, используемый в программе на Python, является *объектом* [1, стр. 57].

Каждый объект имеет свою:

- идентичность,
- тип (или класс),
- значение.

Например, когда в программе встречается инструкция `a = 42`, интерпретатор создает целочисленный объект со значением 42. Можно рассматривать идентичность объекта как указатель на область памяти, где находится объект, а идентификатор `a` – как имя, которое ссылается на эту область памяти.

Тип *объекта* сам по себе является *объектом*, который называется *классом объекта*. Все объекты в языке Python могут быть отнесены к *объектам первого класса* [1, стр. 61]. Это означает, что все объекты, имеющие идентификатор, можно интерпретировать как *данные*.

Тип `None` используется для представления пустых объектов (т.е. объектов, не имеющих значений). Этот объект возвращается функциями, которые не имеют явно возвращаемого значения. Объект `None` часто используется как значение по умолчанию для необязательных аргументов. Объект `None` не имеет атрибутов и в логическом контексте оценивается как значение `False`.

Функции, классы и модули в языке Python являются объектами, которыми можно манипулировать как обычными данными.

Свободные переменные – переменные, которые были определены в объемлющих функциях, а используются вложенными функциями [1, стр. 81].

Все функциональные возможности языка, включая присваивание значений переменным, определение функций и классов, импортирование модулей, реализованы в виде инструкций, обладающих равным положением со всеми остальными инструкциями.

2. Соглашения по именованию классов, функций и переменных

Шаблон именования функции (P)A/HC/LC

префикс? (P) + действие (A) + высокоуровневый контекст (HC) + низкоуровневый контекст (LC)

3. Приемы работы с пакетом Nox

3.1. Общий шаблон

Nox <https://nox.thea.codes/en/stable/index.html> – библиотека и утилита командной строки для автоматизации различных процедур в мульти-средах Python – от простого запуска тестов с помощью, например, `pytest`, линтеров или сборщиков Docker-образов и до запуска цепочек выполнения произвольной сложности.

Если говорить о Python-сценариях, то в файле `noxfile.py` описывается только процедура запуска сценария (вызов сценария из оболочки), а не сам сценарий.

Для запуска утилиты `nox` требуется подготовить файл `noxfile.py` и положить его в корень проекта

noxfile.py

```
import nox

nox.needs_version = ">=2019.5.30"
nox.options.default_venv_backend = "conda"

@nox.session(python=False)
def docker(session):
    session.run(
```

```

        "sudo", "docker", "build",
        "--build-arg", "USER_ID=1000",
        "--build-arg", "GROUP_ID=1000",
        "--build-arg", "STRATEGY_NAME=fix_bins_ints_in_relax_sol",
        "--build-arg", "PATH_TO_STRATEGIES_DIR=./data/strategies",
        "-t", "tthec-fix_bins_ints_in_relax_sol",
        "."
    )

@nox.session(
    python=["3.8", "3.9", "3.10"], # тесты выполняются для 3-х версий Python
    venv_backend="conda",
    reuse_venv=True,
)
def test(session):
    # conda ставит только PySCIPOpt==4.3.0 с канала conda-forge
    session.conda_install("pyscipopt==4.3.0", channel="conda-forge")
    # --no-deps, чтобы не сломать окружение conda
    session.install("--no-deps", "-r", "requirements.txt")
    session.run(
        "pytest",
        "-v",
        "-k", "solver", #запускает только те тесты, в имени которых есть подстрока 'solver'
        env = { # здесь описываются переменные окружения
            "PYTHONPATH": "./src", # как если бы запускали $ PYTHONPATH=./src pytest
        }
    )

```

Теперь для запуска сессии сборки образа нужно просто запустить утилиту с указанием имени сессии

```
$ nox -s docker
```

То есть в файле `noxfile.py` можно описывать любые сессии, которые автоматизируют различные задачи (запуск тестов, сборку Docker-образов и пр.) и доступ к этим сессиям будет, так сказать, с одной точки.

Можно запускать цепочки

```

import nox
import pathlib2

# NOX OPTIONS
nox.needs_version = ">=2022"
nox.options.default_venv_backend = "conda"

# PROJECT PARAMS
STRATEGY_NAME = "fix_bins_ints_in_relax_sol_with_perturbation"
PROBLEM_FILE_NAME = "model_MNPZ_march_no_plecho_no_CDO_only_BRN.mps"

PATH_TO_DATA_DIR = Path().joinpath("data/").absolute()
PATH_TO_PROBLEMS_DIR = PATH_TO_DATA_DIR.joinpath("problems/")
PATH_TO_MAKE_STRATEGY_FILE = Path("./src/strategy_templates/make_strategy_file.py")
PATH_TO_SETTINGS_DIR = PATH_TO_DATA_DIR.joinpath("settings/")
PATH_TO_RELAX_SET_FILE = PATH_TO_SETTINGS_DIR.joinpath("scip_relax.set")
PATH_TO_MILP_SET_FILE = PATH_TO_SETTINGS_DIR.joinpath("scip_milp.set")
PATH_TO_STRATEGIES_DIR_HOST = PATH_TO_DATA_DIR.joinpath("strategies/")
PATH_TO_STRATEGIES_DIR_CONTAINER = "./data/strategies"

DOCKER_MEMORY = 8000 # Mb

```

```

DOCKER_MEMORY_SWAP = 8000 # Mb

DEFAULT_INTERPRETER = "3.8"
TARGET_INTERPRETERS = ("3.8", "3.9", "3.10")

# ENVs
env = {"PYTHONPATH": "./src"}

@nox.session(python=False)
def run_app_with_docker(session):
    session.run(
        "sudo", "docker", "build",
        "--build-arg", "USER_ID=1000",
        "--build-arg", "GROUP_ID=1000",
        "--build-arg", "STRATEGY_NAME=fix_bins_ints_in_relax_sol",
        "--build-arg", "PATH_TO_STRATEGIES_DIR=./data/strategies",
        "-t", "tthec-fix_bins_ints_in_relax_sol",
        ".", # контекст
    )
    # вызов следующего вспомогательного сценария
    session.notify("make_strategy_file")

@nox.session(python=DEFAULT_INTERPRETER)
def make_strategy_file(session):
    session.install("pathlib2>=2.3.7")
    session.run(
        "python", PATH_TO_MAKE_STRATEGY_FILE,
        "--strategy-name", STRATEGY_NAME,
        "--path-to-relax-set-file", PATH_TO_RELAX_SET_FILE,
        "--path-to-milp-set-file", PATH_TO_MILP_SET_FILE,
        "--path-to-test-problem-file", PATH_TO_PROBLEMS_DIR.joinpath(PROBLEM_FILE_NAME),
        "--path-to-strategies-dir", PATH_TO_STRATEGIES_DIR_HOST,
        env=env,
    )
    # вызов следующего вспомогательного сценария
    session.notify("docker_run")

@nox.session(python=False)
def docker_run(session):
    session.run(
        "sudo", "docker", "run",
        "--rm",
        "-v", f"{PATH_TO_DATA_DIR}:/data",
        "-m", f"{DOCKER_MEMORY}m",
        "--memory-swap", f"{DOCKER_MEMORY_SWAP}m",
        f"tthec-{STRATEGY_NAME}"
    )
...

```

Запуск цепочки

```
$ nox -s run_app_with_docker
```

Чтобы захватить вывод команды оболочки, нужно у метода run выставить silent=True

```

@nox.session(python=False)
def f(session):
    USER_ID = session.run("bash", "-c", "echo $(id -u)", silent=True)
    GROUP_ID = session.run("bash", "-c", "echo $(id -g)", silent=True)
    ...

```

3.2. Запуск тестов в мультисредах Python

Для того чтобы запустить тесты сразу для нескольких версий интерпретатора достаточно просто передать список нужных версий декоратору `@nox.session(python=["3.8", "3.9", ...])`

```
@nox.session(
    python=["3.8", "3.9"],
    venv_backend="conda",
    reuse_venv=False,
)
def test(session):
    session.conda_install("pyscipt==4.3.0", channel="conda-forge")
    session.install("--no-deps", "-r", "requirements.txt")

    session.run(
        "pytest",
        "-v",
        env={"PYTHONPATH": "./src"}
    )
```

3.3. Nox как утилита командной строки

<https://nox.thea.codes/en/stable/usage.html>

Вывести список сессий

```
$ nox -l
* test-3.8
* test-3.9
* test-3.10
```

Запустить только тестирование для Python 3.10

```
$ nox --session test-3.10 # или с коротким флагом '-s'
```

После запуска сессий по умолчанию в текущей директории создается скрытая директория `.nox`, в которую записывается сводка по запускам. Чтобы создать эту сводку в указанном пользователем месте, нужно использовать флаг `--envdir`

```
$ nox --envdir /tmp/envs
```

Утилите `nox` можно передать позиционные аргументы

```
...
@nox.session
def test(session):
    if session.posargs:
        test_files = session.posargs
    else:
        test_files = ["test_a.py", "test_b.py"]

    session.run("pytest", *test_files)

$ nox -- test_c.py
```

Еще один важный момент заключается в том, что если требуется управлять цепочкой выполнения по условию, то можно пробросить значения аргументов командной строки через аргумент `posargs` функции `notifiy`

```

@nox.session(python=DEFAULT_INTERPRETER)
def fake1(session):
    args: t.List[str] = session.posargs

    if args and ("docker" in args):
        use_docker = True
    else:
        use_docker = False

    session.notify("fake2", posargs=[use_docker]) # пробрасываем значение аргумента

@nox.session(python=DEFAULT_INTERPRETER)
def fake2(session):
    print(session.posargs)

```

Теперь можно вызвать сессию так

```
$ nox -s fake1 -- docker
```

ВАЖНО: Не обязательно пробрасывать значения аргумента через все элементы цепочки. Значение аргумента, переданное в «головной» элемент цепочки, можно прочесть в любом другом элементе как `session.posargs`

4. Приемы работы с pip

С одной стороны в виртуальное окружение conda можно устанавливать пакеты с помощью менеджера pip, но все-таки лучше с pip использовать флаг `--no-deps`. Это поможет не сломать окружение conda. В противном случае пакеты устанавливаемые с помощью pip могут получить несовместимые версии с пакетами уже установленными в окружении conda <https://nox.thea.codes/en/stable/tutorial.html>

```
$ pip install --no-deps -r req.txt
```

5. Приемы работы с пакетом Click

Click поддерживает два типа параметров для сценариев: опции (options) и аргументы (arguments). В документации <https://click.palletsprojects.com/en/8.1.x/parameters/> говорится, что *аргументы* рекомендуется использовать для перехода к подкомандам или входным файлам, URLs etc., а для всего остального – *опции*.

Аргументы умеют меньше, чем параметры. Однако по умолчанию аргументы, в отличие от опций, могут принимать произвольное количество аргументов. Опции могут принимать только заданное количество аргументов (по умолчанию 1).

По умолчанию параметры-опции (options), которые объявляются с помощью декоратора `@click.option()` необязательны. Чтобы сделать *опциональный параметр обязательным* нужно просто передать `required=True` <https://click.palletsprojects.com/en/8.1.x/options/>

```

@click.command()
@click.option("--n", required=True, type=int)
def dots(n):
    click.echo("-" * n)

if __name__ == "__main__":

```


dots()

Пример интерфейса командной строки для пакета ZyOpt

```
#!/python

import click
from zyopt.common.validators import ValidSolverName

@click.command(
    name="zyopt-cli",
    help="Solves MILP-problems with stochastic and ML-approches.",
)
@click.option(
    "-ptb",
    "--path-to-problem",
    type=click.Path(
        exists=True,
        file_okay=True,
        readable=True,
    )
)
@click.option(
    # принимаем true/false, t/f, yes/no, on/off, 1/0
    "--use-warm-start",
    type=click.BOOL,
    default=True,
)
@click.option(
    "-svr",
    "--selected-vars-ratio",
    type=click.FloatRange(
        min=0.01,
        max=0.99,
        clamp=True,
    ),
    default=0.95,
)
@click.option(
    "-snrp",
    "--solver-name-relax-phase",
    type=click.Choice(
        tuple(elem.value for elem in ValidSolverName),
        case_sensitive=False,
    ),
    default=ValidSolverName.HIGHS.value.lower(),
    help="Solver name of RELAX-phase",
)
def main(
    path_to_problem,
    use_warm_start,
    selected_vars_ratio,
    solver_name_relax_phase,
):
    pass

if __name__ == "__main__":
    main()
```

```
$ ./zyopt_cli.py --path-to-problem ./problem.mps --use-warm-start on ...
```

6. Аннотация типов

Аннотации обрабатываются интерпретатором *на этапе импорта*, тогда же, когда значения по умолчанию [4, стр. 508].

Расширяющееся использование аннотации типов подняло две проблемы [4]:

1. импорт модулей занимает больше времени и потребляет больше памяти, если используется много аннотаций,
2. ссылка на еще не определенные типы требует использования строк, а не фактических типов.

Хранение аннотации в виде строк иногда необходимо из-за проблемы «опережающей ссылки»: когда аннотация типа должна сослаться на класс, определенный в том же модуле ниже. Поскольку объект класса не определен, пока Python не закончит вычисление тела класса, в аннотациях типов необходимо указывать *имя класса в виде строки* [4, стр. 508]. Пример

```
class Rectangle:
    # ...
    def stretch(self, factor: float) -> "Rectangle":
        return Rectangle(width=self.width * factor)
```

Запись еще не определенных типов в виде строки в аннотациях типов – стандартная и обязательная практика в версии Python 3.10.

В PEP 563 «Postponed Evaluation of Annotations» сделал необязательной запись аннотации в виде строк и уменьшил время, необходимое для обработки аннотаций типов во время выполнения. В этом PEP предлагается изменить аннотации функций и переменных, так чтобы они больше не вычислялись в момент определения функции. Вместо этого они сохраняются в аннотациях в строковой форме.

Начиная с версии Python 3.7 именно так и обрабатываются аннотации в любом модуле, который начинается следующим предложением

```
from __future__ import annotations
```

Вызов `typing.get_type_hints` дает нам реальные типы – даже в тех случаях, когда в исходной аннотации тип был записан в виде заковыченной строки. Это рекомендуемый способ читать аннотации типов во время выполнения.

Значением функции всегда является *конкретный объект*, поэтому в аннотации для *возвращаемого значения* должен быть указан *конкретный тип* [4, стр. 277]. В разделе документации, посвященном `typing.List` говорится, что обобщенная версия `list` полезна для аннотирования типов *возвращаемых значений*, а для аннотирования *аргументов* лучше использовать *абстрактные* коллекции, например `Sequence` или `Iterable`.

То есть функция *всегда* принимает объекты «широких» типов, то есть подтипов или абстрактных типов (чтобы можно было, скажем вместо `dict` передать `OrderedDict` или `UserDict`), а возвращает объекты «узких» конкретных типов.

Начиная с версии Python 3.9 большинство ABC из модуля `collections.abc` и другие конкретные классы из модуля `collections`, а также встроенные коллекции поддерживают нотацию аннотации обобщенных классов вида `collections.deque[str]`. Соответствующие коллекции

из модуля `typing` нужны только для поддержки кода, написанного для версии Python 3.8 или более ранней [4, стр. 278].

То есть

```
from collections.abc import Iterable

def f(seq: Iterable[str]) -> list[str]:
    return sorted(seq, key=len)
```

В документе PEP 613 «Explicit Type Aliases» введен специальный тип `TypeAlias`, идея которого в том, чтобы сделать создаваемые псевдонимы типов хорошо видимыми и упростить для них проверку типов

```
from typing import TypeAlias

FromTo: TypeAlias = tuple[str, str]
```

Тип `Sequence` можно использовать тогда, когда по логике нужно знать длину последовательности. Как и `Sequence`, объект `Iterable` лучше использовать в качестве *типа параметра*. В качестве типа возвращаемого значения он не позволяет составить представление о том, что же будет на выходе. Функция должна более ясно говорить о том, какой конкретный тип она возвращает.

Если требуется указать *верхнюю границу допустимых типов* (параметр-тип может быть `Hashable` или любым его *подтипом*), то можно сделать так

```
from collections.abc import Iterable, Hashable
from typing import TypeVar

HashableT = TypeVar("T", bound=Hashable)

def mode(data: Iterable[HashableT]) -> HashableT:
    pairs = Counter(data).most_common(1)
    if len(pairs) == 0:
        raise ValueError("no mode for empty data")

    return pairs[0][0]
```

А ограничить `TypeVar` можно так

```
NumberT = TypeVar("NumberT", float, Decimal, Fraction)
```

С помощью `Iterator` можно зааннотировать генераторное выражение, например

```
from collections.abc import Iterator

# генераторное выражение
series: Iterator[tuple[int, str]] = (len(s), s) for s in ...)
```

Если нужна аннотация типа для функций с *гибкой сигнатурой*, нужно заменить весь список параметров многоточием [4, стр. 289]

```
Callable[..., ReturnType]
```

Если даны тип `T1` и подтип `T2`, то `T2` *совместим* с типом `T1` (подстановка Лисков) [4, стр. 268].

6.1. Вариантность в типах `Callable`

Пусть есть функция высшего порядка, которая принимает два вызываемых объекта

```

from collections.abc import Callable

def update(
    probe: Callable[[], float], # "-" у аргумента 'probe' КОНТРАвариантная позиция
    display: Callable[[float], None], # "-" у аргумента 'display' КОНТРАвариантная позиция
) -> None: # "+" у выхода функции КОВАРИАНТная позиция
    ...

```

Чтобы сохранить правильную вариантность по отношению к аргументам функции `update` в `Callable` вариантность *инвертируется*, то есть `Callable[[], float]`.

Например, аргументу `probe` можно вместо объекта типа `Callable[[], float]` передать объект типа `Callable[[], int]`, так как по отношению к `Callable float` стоит в контравариантной позиции (-) и потому допускает замену на свой *подтип*.

Напротив в `Callable[[float], None]` `float` стоит в ковариантной позиции (+) и допускает замену на свой *супертип*.

В общем случае аргументы функции стоят в контравариантной позиции (-), так как функция ожидает объекты более общих типов (подтипов или абстрактных типов), а выход функций стоит в ковариантной позиции, чтобы можно было возвращать более конкретный тип.

6.2. Аннотирование чисто позиционных и вариадических параметров

Пример

```

import typing as t

def tag(
    name: str,
    /, # все что слева от слеша это чисто позиционные аргументы
    *content: str,
    class_: t.Optional[str] = None,
    **attrs: str,
) -> None:
    ...

```

Внутри функции `content` будет иметь тип `tuple[str, ...]`, а `attrs` – тип `dict[str, str]`. Если бы аннотация имела вид `**attrs: float`, то аргумент `attr` имел бы тип `dict[str, float]`.

Для того чтобы блок проверки условий выглядел завершенным, то есть содержал ветки `if`, `elif` и `else` даже в тех случаях, когда логика ветки `else` обрабатывается где-то в другом месте (например, в валидаторе), можно использовать такую функцию

```

import typing as t

def assert_never(_: t.NoReturn) -> t.NoReturn:
    raise AssertionError("Error! Expected code to be unreachable")

```

Пример использования

```

import enum
from typing_extensions import Never

def assert_never(arg: Never) -> Never:
    raise AssertionError("Expected code to be unreachable")

class Op(enum.Enum):
    ADD = 1

```

```

SUBTRACT = 2

def calculate(left: int, op: Op, right: int) -> int:
    match op:
        case Op.ADD:
            return left + right
        case Op.SUBTRACT:
            return left - right
        case _:
            assert_never(op)

```

Начиная с версии Python 3.11 рекомендуется вместо `NoReturn` использовать `Never`, но если проект поддерживает старые версии Python, то документация <https://typing.readthedocs.io/en/latest/source/unreachable.html> разрешает использовать `NoReturn`.

7. Приемы работы с httpx

7.1. Установка

Установить пакет можно так

```
pip install httpx
```

7.2. Get-запрос

Например чтобы скачать mps.gz-файл с ресурса MIPLIB 2017, достаточно выполнить следующий код

```

import httpx
import pathlib2

BASE_PROBLEMS_URL = "https://miplib.zib.de/WebData/instances/"
PATH_TO_PROBLEMS_DIR = "./data/problems/"
problem_name = "10teams.mps.gz"

try:
    r = httpx.get(
        BASE_PROBLEMS_URL + problem_name,
        timeout=5 # в секундах
    )
    response.raise_for_status()
except httpx.RequestError as exc:
    print(f"An error occurred while requesting {exc.request.url!r}.")
except httpx.HTTPStatusError as exc:
    print(f"Error response {exc.response.status_code} while requesting {exc.request.url!r}.")

problem = r.read()
pathlib2.Path(PATH_TO_PROBLEMS_DIR + problem_name).write_bytes(problem)

```

8. Приемы работы с pytest

8.1. Особенности импорта

Пусковой сценарий проекта обычно располагается в директории `./src`. В этом случае сканирование окружения на предмет поиска пользовательских пакетов и модулей начинается с той директории, в которой *лежит* этот пусковой сценарий, то есть с директории `./src`

```
project_root/  
  src/  
    common/ # накет  
      __init__.py  
      logger.py  
      exceptoins.py  
    units/ # накет  
      __init__.py  
      fix_vars.py  
      base_unit.py  
      solver.py  
      strategy_manager.py  
      run.py
```

Тогда импорт в самом сценарии может выглядеть так

run.py

```
# путь отсчитывается от той директории, в которой лежит run.py  
from common.logger import make_logger  
from strategy_manager import StrategyManager  
...
```

В модулях пути тоже отсчитываются от той директории, в которой *лежит* пусковой сценарий

solver.py

```
from common.logger import make_logger  
from units.base_unit import Unit  
...
```

В тестах можно указывать пути от той же директории `./src`, то есть

test_solver.py

```
import pytest  
# путь отсчитывается от директории ./src  
from common.exceptions import HiGHS  
from units.solver import Solver  
  
@pytest.mark.unit  
def test_solver_unit_highs_with_unsupported_solver_name():  
    ...
```

Но запускать тесты нужно будет так

```
# требуется включить директорию ./src в список путей поиска  
$ PYTHONPATH=./src pytest -v  
$ PYTHONPATH=./src pytest -v --cov=. --cov-report=html
```

9. Ошибка ValueError: generator already executing в многопоточных приложениях с генераторами

Ошибка «ValueError: generator already executing» возникает когда потоки пытаются одновременно обратиться к генератору. Можно просто добавить блокировку на вызов следующего метода

```
import threading

class ThreadSafeGenerator:
    def __init__(self, gen):
        self.gen = gen
        self.lock = threading.Lock()

    def __iter__(self):
        return self._next()

    def _next(self):
        with self.lock:
            return self.gen
```

Затем нужно просто «пропустить» генератор через этот класс и пользоваться генератором как раньше

```
conss = ThreadSafeGenerator(self._make_generator(model))

for cons in conss:
    # что-то делаем
```

10. Раскраска ячеек в Jupyterlab

Чтобы покрасить ячейку в заданный цвет нужно добавить следующие функции в блокнот

```
from IPython.core.magic import register_cell_magic
from IPython.display import HTML, display

def set_background(color):
    script = (
        "var cell = this.closest('.jp-CodeCell');"
        "var editor = cell.querySelector('.jp-Editor');"
        "editor.style.background='{color}';"
        "this.parentNode.removeChild(this)"
    ).format(color)

    display(HTML('<img src onerror="{color}" style="display:none">'.format(script)))

@register_cell_magic
def background(color, cell):
    set_background(color)
    return eval(cell)
```

Затем нужно просто запустить ячейку с магической командой `%%background _color_`

```
%%background red
# здесь какой-то код
```

11. Разреженные матрицы LIL и CSC

Для представления больших матриц (тысячи строк на тысячи столбцов), которые ограничиваются небольшим числом операций, удобно использовать `scipy.sparse.lil_matrix`, то есть матрицы в формате списка списков разреженных матриц. Такие матрицы эффективны с точки зрения заполнения. Пример

```
from scipy.sparse import lil_matrix, csc_matrix

_matrix = lil_matrix((n_conss, n_vars), dtype=np.int8)

conss_gen = ((cons_name, cons) for cons_name, cons in model.all_conss.items())
for cons_name, cons in tqdm(conss_gen, total=n_conss, desc="Building sparse matrix"):
    cons_idx = cons_name_to_cons_idx.get(cons_name)
    _var_names_context = list(cons.keys())
    var_idxxs = var_name_to_var_idx.loc[_var_names_context].values.tolist()
    _matrix[cons_idx, var_idxxs] = 1
```

Но с точки зрения доступа по столбцам эффективнее использовать разреженные матрицы в формате сжатого разреженного столбца – так как LIL-матрицы строко-ориентированные

```
_matrix.tocsc()
```

Теперь можно эффективно получить множество индексов столбцов, содержащих ненулевые элементы

```
_set_context_var_idxxs: t.Set[int] = set(
    self._matrix[self._matrix.getcol(var_idx).nonzero()[0], :].nonzero()[1]
)
```

12. Метод `__repr__` и модуль `inspect`

Метод `__repr__` предназначен для вывода полезной информации на шаге отладки, а метод `__str__` – вывода полезной информации для пользователей. При этом принято, чтобы метод `__repr__` возвращал такую строку, обернув которую функцией `eval()`, можно было получить экземпляр класса.

Для того чтобы специальный метод `__repr__` мог аккуратно выводить сигнатуру класса удобно воспользоваться модулем `inspect`

```
import inspect

class MyClass:
    def __init__(self, name: str, age: int):
        self.name = name
        self.age = age

    def __repr__(self):
        _args: t.List[str] = []
        # аргументы класса: name и age
        _class_args = tuple(inspect.signature(type(self)).parameters.keys())
        _obj_attrs = self.__dict__

        for key, value in _obj_attrs.items():
            if key in _class_args:
                # обязательно использовать сырое форматирование !r
                _args.append(f"{key}={value!r}")
```



```
args = ", ".join(_args)

return f"{type(self).__name__}({args})"
```

Чтобы получить имеющиеся функции в модуле (пусть называется `promotions`) можно сделать так [4, стр. 343]

```
import promotions
import inspect

promos = [func for _, func in inspect.getmembers(promotions, inspect.isfunction)]
```

13. Интерфейсы, протоколы и ABC

Объектно-ориентированное программирование – это об интерфейсах. Хотите понять, что делает тип в Python, – узнайте, какие методы он предоставляет.

Начиная с Python 3.8 существует 4 способа определения и использования интерфейсов [4, стр. 413]:

- *Утиная типизация*: подход к типизации, по умолчанию принятый в Python с момента его возникновения. Утиная типизация это игнорирование фактического типа объекта и акцент на том, чтобы объект реализовывал методы с именами, сигнатурами и семантикой, требуемыми для конкретного применения. В Python это сводится в основном к тому, чтобы избегать использование функции `isinstance()` для проверки типа объекта [4, стр. 422]. Очень часто бывает, что во время выполнения утиная типизация – лучший подход к проверке типа: вместо того чтобы вызывать `isinstance` или `hasattr`, просто попробуйте выполнить над объектом нужную операцию и обработайте исключения [4, стр. 446]. Яркий пример *утиной типизации*

```
class Vector:
    ...
    def __mul__(self, scalar):
        try:
            factor = float(scalar)
        except TypeError:
            return NotImplemented

        return Vector(n * factor for n in self)

    def __rmul__(self, scalar):
        return self * scalar
```

В этом примере метод `__mul__` не проверяет тип `scalar` явно, а пытается преобразовать его в тип `float` и возвращает `NotImplemented`, если эта попытка завершается неудачно. Метод `__rmul__` просто вычисляет произведение `self * scalar`, делегируя всю работу методу `__mul__`.

- *Гусиная типизация*: этот подход поддерживается абстрактными базовыми классами; в его основе лежит сравнение объектов с ABC, выполняемое на этапе выполнения. Гусиная типизация означает следующее: вызов `isinstance(obj, cls)` теперь считается приемлемым, но при условии, что `cls` – абстрактный базовый класс, то есть метаклассом `cls` является `abc.ABCMeta`. Пусть имеется класс `FrenchDeck`, и требуется проверить его тип следующим

образом: `issubclass(FrenchDeck, Sequence)`. Для этого можно сделать его виртуальным подклассом ABC Sequence

```
from collections.abc import Sequence
Sequence.register(FrenchDeck)
```

Пример *гусиной типизации*

```
class Vector:
    ...
    def __matmul__(self, other):
        if (isinstance(other, abc.Sized) and isinstance(other, abc.Iterable)):
            if len(self) == len(other):
                return sum(a * b for a, b in zip(self, other))
            else:
                raise ValueError("@ requires vectors of equal length")
        else:
            return NotImplemented

    def __rmatmul__(self, other):
        return self @ other
```

Здесь оба операнда должны реализовывать методы `__len__` (`abc.Sized`) и `__iter__` (`abc.Iterable`).

- *Статическая типизация*: поддерживается с помощью модуля `typing`.
- *Статическая утиная типизация*: поддерживается подклассами класса `typing.Protocol`, и также проверяется внешними программами.

Реализации метода `__getitem__()` достаточно для [4, стр. 414]:

- получения элементов по индексу,
- поддержки итерирования,
- поддержки оператора `in`.

Специальный метод `__getitem__()` – ключ к протоколу последовательности. PEP 544 позволяет создавать подклассы `typing.Protocol` с целью определить, какие методы должен реализовывать (или унаследовать) класс, чтобы не раздражать программу статической проверки типов.

Между динамическим и статическим протоколами есть два основных различия [4, стр. 415]:

- объект может реализовать только часть *динамического* протокола и при этом быть полезным; но чтобы удовлетворить *статическому* протоколу, объект должен предоставить *все методы*, объявленные в классе протокола, даже если некоторые из них программе не нужны,
- статические протоколы можно проверить с помощью программ статической проверки типов, динамические – нельзя.

Помимо статических протоколов, Python предлагает еще один способ программно определить явный интерфейс: абстрактный базовый класс.

Правильно написанный подкласс абстрактного базового класса `Sequence` должен реализовывать методы `__getitem__()` и `__len__()` (унаследованный от `Sized`) [4, стр. 416].

Даже если метода `__iter__()` у объекта нет, но есть метод `__getitem__()`, Python будет считать *объект итерируемым*. Поскольку если Python находит метод `__getitem__()` и не имеет ничего лучше, то он пытается обходить объект, вызывая этот метод с целочисленными индексами, начиная с 0 [4, стр. 416].

Короче говоря, осознавая важность структур данных, обладающих свойствами последовательностей, Python ухитряется заставить *итерирование* и *оператор in* работать, вызывая метод `__getitem__()` в случае, когда методы `__iter__()` и `__contains__()` отсутствуют.

13.1. Гусиная типизация

В Python используются абстрактные базовые классы, чтобы определить интерфейсы для явной проверки типов *во время выполнения*. Они также поддерживаются программами статической проверки типов.

Гусиная типизация – это *подход к проверке типов* во время выполнения, основанный на применении абстрактных базовых классов.

Однако и при использовании абстрактных базовых классов нужно помнить, что злоупотребление функцией `isinstance` может быть признаком «дурно пахнущего кода» – плохо спроектированной объектно-ориентированной программы.

Обычно *НЕ* должно быть цепочек предложений `if/elif/else`, в которых с помощью `isinstance` определяется тип объекта и в зависимости от него выполняются те или иные действия; для этой цели следует использовать *полиморфизм*, то есть проектировать классы так, чтобы интерпретатор сам вызывал правильные методы, а не «зашивать» логику диспетчеризации в блоки `if/elif/else` [4, стр. 425].

Важнейшая характеристика *гусиной типизации* – возможность регистрировать класс как *виртуальный подкласс* абстрактного базового класса, даже без наследования. При этом мы обещаем, что класс честно реализует интерфейс, определенный в абстрактном базовом классе, а Python верит нам на слово, *не производя проверку*. Если мы со временем будем наказаны исключением во время выполнения.

Это делается путем вызова метода `register` абстрактного базового класса. В результате зарегистрированный класс становится виртуальным подклассом ABC и распознается в качестве такового функцией `issubclass`, *однако не наследует ни методы, ни атрибуты ABC*.

Виртуальные подклассы *не наследуют ABC*, для которых зарегистрированы. Их согласованность с интерфейсом ABC *не проверяется никогда*, даже в момент создания экземпляра. Кроме того, программы статической проверки типов не могут обрабатывать виртуальные классы.

И наследование ABC, и регистрация в качестве виртуального подкласса ABC – явные способы сделать так, чтобы проходили проверки с помощью функции `issubclass`, а равно и проверки с помощью функции `isinstance`, которая опирается на `issubclass`. Но некоторые ABC поддерживают также структурную типизацию [4, стр. 440].

ABC чаще всего используются в сочетании с *номинальной типизацией*. Когда класс `Sub` явно наследует `AnABC` или регистрируется в качестве виртуального подкласса `AnABC`, имя `AnABC` связывается с классом `Sub`, именно поэтому во время выполнения вызов `issubclass(AnABC, Sub)` возвращает `True`.

Напротив, *структурная типизация* подразумевает изучение структуры открытого интерфейса объекта с целью определить его тип: *объект совместим с типом, если он реализует все методы, определенные типом* (то есть другими словами, является *подтипом*). Динамическая и статическая *утиные типизации* – два подхода к *структурной типизации* [4, стр. 441].

Класс может быть распознан как *виртуальный подкласс ABC* даже без регистрации

```
class Struggle:
    def __len__(self): return 42

from collections.abc import Sized

isinstance(Struggle(), Sized) # True
issubclass(Struggle, Sized)  # True
```

Функция `issubclass` (а значит, и `isinstance`) считает класс `Struggle` подклассом `abc.Sized`, потому что `abc.Sized` реализует специальный метод класса `__subclasshook__`.

Метод `__subclasshook__` в классе `Sized` проверяет, имеет ли переданный в аргументе класс атрибут с именем `__len__`. Если да, то класс считается виртуальным подклассом `Sized` [4, стр. 441].

Вот так метод `__subclasshook__` позволяет ABC поддерживать структурную типизацию. Несмотря на наличие формального определения интерфейса в ABC и скрупулезных проверок, осуществляемых функцией `isinstance`, в определенных контекстах вполне можно использовать никак не связанный с ABC класс просто потому, что в нем реализован определенный метод (или потому, что он постарался убедить `__subclasshook__`, что за него можно поручиться) [4, стр. 442].

Лично я не готов поверить, что класс с именем `Spam`, который реализует или наследует методы `load`, `pick`, `inspect` и `loaded`, гарантировано ведет себя как `Tombola`. Пусть уж лучше программист явно подтвердит это, сделав `Spam` подклассом `Tombola` или хотя бы зарегистрировав его: `Tombola.register(Spam)`.

13.2. Статические протоколы

Пример

```
from typing import TypeVar, Protocol

T = TypeVar("T")

class Repeatable(Protocol):
    def __mul__(self: T, repeat_count: int) -> T: ...

RT = TypeVar("RT", bound=Repeatable)

def double(x: RT) -> RT:
    return x * 2
```

Параметр `self` обычно не аннотируется – предполагается, что его тип – сам класс. Здесь мы используем `T`, чтобы тип результата гарантированно совпадал с типом `self`.

Номинальный тип фактического аргумента `x`, переданного `double`, не играет роли, коль скоро он умеет квакать – т.е. реализует метод `__mul__`.

На карте типизации `typing.Protocol` располагается в области статической проверки. Но при определении подкласса `typing.Protocol` мы можем использовать декоратор `@runtime_checkable`, чтобы протокол поддерживал проверки с помощью функции `isinstance/issubclass` во время выполнения.

Исходный код протокола `typing.SupportsComplex`

```
@runtime_checkable
class SupportsComplex(Protocol):
    __slots__ = ()

    @abstractmethod
    def __complex__(self) -> complex:
        pass
```

В процессе *статической проверки типов* объект будет считаться *совместимым* с протоколом `SupportsComplex`, если он реализует метод `__complex__`, принимающий только аргумент `self` и возвращающий `complex`.

Благодаря применению декоратора класса `@runtime_checkable` к `SupportsComplex` этот протокол теперь можно использовать в сочетании с функцией `isinstance`.

Если требуется проверить, верно ли, что объект `c` имеет тип `complex` или `SupportsComplex`, то можем предоставить кортеж типов в качестве второго аргумента `isinstance`

```
isinstance(c, (complex, SupportsComplex))
```

Встроенный тип `complex`, а также типы NumPy `complex64` и `complex128` зарегистрированы как виртуальные подклассы `numbers.Complex` и потому проходят проверку с помощью `isinstance`.

Очень часто бывает, что во время выполнения утиная типизация – лучший подход к проверке типа: вместо того чтобы вызывать `isinstance` или `hasattr`, просто попробуйте выполнить над объектом нужную операцию и обработайте исключения.

Пример. Дан объект `o`, который требуется использовать как комплексное число, – можно подойти к решению следующим образом:

```
if isinstance(o, (complex, SupportsComplex)):
    # to something
else:
    raise TypeError("o must be convertible to complex")
```

Гусиная типизация подразумевала бы использование `ABC numbers.Complex`

```
if isinstance(o, numbers.Complex):
    # do something
else:
    raise TypeError("...")
```

Л. Ромальо предпочитает использовать утиную типизацию и принцип EAFP (it's easier to ask for forgiveness than permission) – проще попросить прощения, чем испрашивать разрешения

```
try:
    c = complex(o)
except TypeError as exc:
    raise TypeError("...") from exc
```

Общая проблема: функции `isinstance/issubclass` смотрят только на наличие или отсутствие методов, не проверяя их сигнатуры, а уж тем более аннотации типов [4, стр. 448].

В классе `Vector2d` можно разместить метод следующего вида

```
from __future__ import annotations # NB

class Vector2d:
    ...

    @classmethod
    def fromcomplex(cls, datnum: SupportsComplex) -> Vector2d: # NB
        c = complex(datnum)
        return cls(c.real, c.imag)
```

Тип возвращаемого `fromcomplex` значения может быть `Vector2d`, если в начале модуля находится предложение `from __future__ import annotations`. Этот импорт приводит к тому, что аннотации типов сохраняются в виде строк, а не вычисляются на этапе импорта, когда интерпретатор обрабатывает определения функций. Если бы `annotations` не импортировался, то ссылка `Vector2d` была бы в этой точке недопустима (класс еще не полностью определен) и ее следовало бы записать в виде строки `'Vector2d'`, как если бы это была опережающая ссылка [4, стр. 449].

14. Итераторы, генераторы и классические сопрограммы

Если просматривается набор данных, не помещающийся целиком в память, то нужен способ выполнять ее *лениво*, то есть по одному элементу и по запросу. Именно это и делает Итератор.

Любая стандартная коллекция в Python является *итерируемым объектом*, то есть предоставляет *итератор*, который используется для поддержки следующих операций [4, стр. 556]:

- циклов `for`,
- списковых, словарных и множественных включений,
- распаковки операций присваивания,
- конструирования экземпляров коллекций.

Всякий раз как интерпретатору нужно обойти объект `x`, он автоматически вызывает функцию `iter(x)`.

Встроенная функция `iter` выполняет следующие действия [4, стр. 559]:

- Смотрит, реализует ли объект метод `__iter__`, и, если да, вызывает его, чтобы получить итератор,
- Если метод `__iter__` не реализован, но реализован метод `__getitem__`, то Python создает итератор, который пытается извлекать элементы по порядку, начиная с индекса 0,
- Если и это не получается, то возбуждается исключение – обычно с сообщением «'C' object is not iterable»

Именно поэтому любая последовательность в Python является итерируемой: все они реализуют метод `__getitem__`. На самом деле стандартные последовательности реализуют и метод `__iter__`, а специальная обработка метода `__getitem__` оставлена *только ради обратной совместимости* [4, стр. 559].

Пример

```
class Spam:
    def __getitem__(self, i):
        print(">", i)
        raise IndexError()

spam = Spam()
iter(spam) # <iterator object ...>
list(spam)
# -> 0
# []
from collections import abc
isinstance(spam, abc.Iterable) # False
```

Если класс предоставляет метод `__getitem__`, то встроенная функция `iter()` принимает *экземпляр* этого класса в качестве *итерируемого объекта* и строит по нему *итератор*. Механизм итерирования Python будет вызывать `__getitem__` с индексами, начинающимися с 0, и воспринимать исключение `IndexError` как сигнал о том, что элементы кончились.

Итерируемый объект – любой объект, от которого встроенная функция `iter` может получить *итератор*. Объекты, которые реализуют метод `__iter__`, возвращающий *итератор*, являются итерируемыми. *Последовательности* всегда *итерируемы*, поскольку это объекты, реализующие метод `__getitem__`, который принимает индексы, начинающиеся с нуля [4, стр. 561].

Итераторы в Python следует считать не типом, а *протоколом*. Лучше не проверять тип итератора, а использовать функцию `hasattr` для проверки наличия атрибутов «`__iter__`» и «`__next__`» [4, стр. 563].

Объект считается *итерируемым*, если реализует метод `__iter__` [4, стр. 559].

Лучший способ узнать, является ли объект итератором, – вызвать функцию `isinstance(x, collections.abc.Iterator)`. Благодаря методу `Iterator.__subclasshook__` эта проверка работает даже тогда, когда класс не является ни настоящим, ни виртуальным подклассом `Iterator`.

Любая функция в Python, в теле которой встречается ключевое слово `yield`, называется *генераторной функцией* – при вызове она возвращает *объект-генератор*. Иными словами, генераторная функция – фабрика генераторов.

Объекты-генераторы реализуют интерфейс `Iterator`, поэтому являются также *итерируемыми объектами* [4, стр. 569].

Генераторная функция не возбуждает исключение `StopIteration`, когда значений не остается она просто выходит. Другими словами, генераторная функция просто возвращает управление, а исключение `StopIteration` возбуждает объект-генератор (в полном соответствии с протоколом `Iterator`).

Вызов генераторной функции возвращает генератор. А генератор отдает значения.

Генераторное выражение возвращает *объект-генератор*. Пример

```
RE_WORD = re.compile(r"\w+")

class Sentence:
    def __init__(self, text):
        self.text = text

    def __repr__(self):
        return f"... "

    def __iter__(self):
        # ВОЗВРАЩАЕТСЯ генераторное выражение
        return (match.group() for match in RE_WORD.finditer(self.text))
```

Конечный результат не изменился: код, вызывающий `__iter__`, получает объект-генератор.

Генераторные выражения – не более чем синтаксический сахар: их всегда можно заменить генераторными функциями, но иногда выражение удобнее.

Если генераторное выражение занимает больших двух строк, то рекомендуется использовать генераторную функцию.

В официальной документации и кодовой базе Python терминология, относящаяся к итераторам и генераторам, противоречива и постоянно изменяется. Рамальо предлагает следующие определения [4, стр. 574]:

- *Итератор* – общий термин, обозначающий любой объект, который реализует метод `__next__`. Итераторы предназначены для порождения данных, потребляемых клиентским кодом, т.е. кодом, который управляет итератором посредством цикла `for` или другой итеративной конструкции либо путем явного вызова функции `next(it)` для итератора. На практике большинство итераторов, встречающихся в Python, являются генераторами.
- *Генератор* – итератор, построенный компилятором Python. Для создания генератора мы не реализуем метод `__next__`. Вместо этого используется ключевое слово `yield`, в результате чего получается *генераторная функция*, то есть фабрика *объектов-генераторов*. Генераторное выражение – это еще один способ построить объект-генератор. Объекты-генераторы предоставляют метод `__next__`, то есть являются генераторами.

Замечание

В глоссарии Python недавно появился термин *генераторный итератор*, так называют объекты, построенные генераторными функциями, тогда как в статье о генераторных выражениях говорится, что они возвращают «итератор». Но в обоих случаях, если верить Python, возвращаются *объекты-генераторы*.

Выражение `yield from` позволяет генератору делегировать работу субгенератору.

Пример

```
def tree(cls):
    yield cls.__name__, 0
    yield from sub_tree(cls, 1)

def sub_tree(cls, level):
    for sub_cls in cls.__subclasses__():
        yield sub_cls.__name__, level
        yield from sub_tree(sub_cls, level + 1)

def display(cls):
    for cls_name, level in tree(cls):
        indent = " " * 4 * level
        print(f"{indent}{cls_name}")

if __name__ == "__main__":
    display(BaseException)
```

В любом нормальном пособии по рекурсии подчеркивается важность базы, позволяющей избежать бесконечной рекурсии. Неявное условие есть в цикле `for`: если `cls.__subclasses__()` возвращает пустой список, то тело цикла не выполняется, так что рекурсивного вызова не будет. Базовым является случай, когда класс `cls` не имеет подклассов. Тогда `sub_tree` ничего не отдает, а просто возвращает управление [4, стр. 595].

Функции, принимающие итерируемые объекты в качестве аргументов, можно аннотировать с помощью `collections.abc.Iterable` (или `typing.Iterable`, если нужно обязательно поддерживать версию Python 3.8 или более ранние)

```
from collections.abc import Iterable

FromTo = tuple[str, str]

def zip_replace(text: str, changes: Iterable[FromTo]) -> str:
    for from_, to in changes:
        text = text.replace(from_, to)
    return text
```

Начиная с версии Python 3.10 `FromTo` должна иметь аннотацию типа `typing.TypeAlias`, чтобы прояснить назначение этой строки

```
FromTo: TypeAlias = tuple[str, str]
```

Типы `Iterator` встречаются не так часто, как `Iterable`

```
from collections.abc import Iterator

def fibonacci() -> Iterator[int]:
    a, b = 0, 1
    while True:
```



```
yield a
a, b = b, a + b
```

Тип `Iterator` используется для генераторов, оформленных в виде функции с `yield`, а также итераторов, написанных «вручную» как классы с методом `__next__`. Существует также тип `collections.abc.Generator` (и соответствующий объявленный [нерекомендуемым тип](#) `typing.Generator`), который можно использовать для аннотирования объекто-генераторов, но он слишком многословен для генераторов в роли итераторов [4, стр. 597].

Пример

```
# Генераторное выражение, отдающее строки
long_kw: Iterator[str] = (k for k in kwlist if len(k) >= 4)
```

`abc.Iterator[str]` совместим с `abc.Generator[str, None, None]`. `Iterator[T]` – это краткое обозначение `Generator[T, None, None]`. Обе аннотации означают «генератор, который отдает объект типа `T`, но *не потребляет* и *не возвращает* значений». Генераторы, способные потреблять и возвращать значения, называются сопрограммами.

Генераторы чаще используются в роли простых итераторов.

Единственное разумное действие с генератором, используемым в роли итератора, – вызов метода `next(it)` прямо или косвенно посредством цикла `for` и других форм итерирования.

Есть еще тип `typing.Coroutine` (объявленный [нерекомендуемым](#)) и `collections.abc.Coroutine` (обобщенный начиная с версии Python 3.9) предназначены для аннотирования *только платформенных*, но не классических сопрограмм.

Если требуется использовать аннотации типов в сочетании с классическими сопрограммами, то придется испытывать замешательство, аннотируя их как `Generator[YieldType, SendType, ReturnType]`.

Из презентаций Бизли [4, стр. 599]:

- генераторы порождают данные для итерирования,
- сопрограммы являются потребителями данных,
- сопрограммы не имеют никакого отношения к итерированию.

Пример сопрограммы

```
def averager() -> Generator[float, float, None]:
    total = 0.0
    count = 0
    average = 0.0
    while True:
        term = yield average
        total += term
        count += 1
        average = total / count

coro_avg = averager()
next(coro_avg) # 0.0
coro_avg.send(10) # 10
coro_avg.send(30) # 20
```

Здесь не нужны ни атрибуты экземпляра, ни замыкания. Потому-то сопрограммы и являются привлекательной альтернативой обратным вызовам при асинхронном программировании – они сохраняют локальное состояние между активациями.

В этом тесте вызов `next(coro_avg)` заставляет сопрограмму дойти до `yield`, при этом будет отдано начальное значение `average`. Запустить сопрограмму можно также, вызвав `coro_avg.send(None)`,

– именно так и поступает встроенная функция `next()`. Но отправить какое-то значение, кроме `None`, нельзя, потому что сопрограмма может принимать отправленные значения, только когда приостановлена в точке `yield`. Вызов `next()` или `.send(None)`, чтобы продвинуть выполнение к первому предложению `yield`, называется «инициализацией сопрограммы».

15. Замечание о хвостовой рекурсии в Python

В Python нет РТС (Proper Tail Calls, *чисто хвостовой рекурсии*), поэтому от написания хвостово-рекурсивных функций мы никакого наваара не получим. Хвостовая рекурсия имеет место, когда функция возвращает результат некоторого вызова функции – самой себя или какой-то другой [4, стр. 643].

Проблема в том, что даже в языках, где РТС реализована, дивиденды получают не все рекурсивные функции, а только специально написанные, так чтобы имел место хвостовой вызов. Если РТС поддерживается языком, то *интерпретатор, видя хвостовой вызов*, переходит прямо в тело вызываемой функции, *не создавая новый кадр стека, что экономит память*. Есть также компилируемые языки, в которых реализована РТС, иногда в качестве оптимизации, включаемой по желанию.

Если в языке нет никакого механизма итераций, кроме рекурсии, то РТС необходима из практических соображений.

В CPython РТС не реализована и, скорее всего, никогда не будет. РТС усложняет отладку для всех, а преимущества получают только те немногие, кто предпочитает использовать *рекурсию вместо итераций* [4, стр. 644].

16. Модели конкурентности в Python

Конкурентное или параллельное программирование – даже ученые, строго следящие за употреблением терминологии, не согласны в том, как использовать эти термины. С точки зрения Роба Пайка, *параллелизм* – частный случай *конкурентности*. Все параллельные системы являются конкурентными, но обратное неверно.

Современный ноутбук с 4 ядрами спокойно выполняет более 200 процессов в каждый момент времени при нормальной повседневной загрузке. Чтобы выполнить 200 задач параллельно, нужно 200 ядер. Поэтому на практике большая часть вычислений производится *кокурентно*, а не *параллельно* [4, стр. 646].

Когда мы вызываем функцию, вызывающая программа блокируется, пока функция не вернет управление. В этот момент мы знаем, что функция завершила свою работу, и легко можем получить возвращенное значение.

Эти хорошо знакомые действия неприменимы, когда запускается поток или процесс: нет никакого способа автоматически узнать, когда он завершился, а для получения результатов или ошибок нужно организовать какой-то коммуникационный канал, например очередь сообщений.

Конкурентность – способность обрабатывать несколько задач, *чередую выполнение* или параллельно (если это возможно), так что каждая задача в конечном счете доходит до конца или завершается с ошибкой. Одноядерный процессор допускает конкурентность, если работает под управлением планировщика ОС, который чередует выполнение ожидающих задач.

Параллелизм – способность выполнять несколько вычислений *одновременно*. Для этого необходим многоядерный процессор, несколько процессоров, графический процессор или кластер из нескольких компьютеров.

Единица выполнения – общий термин для объектов, выполняющих код конкурентно, каждый из которых имеет независимые от других состояния и стек вызовов. Python поддерживает три вида единиц выполнения: потоки, процессы и сопрограммы.

Процесс – экземпляр компьютерной программы во время ее выполнения, которому выделены память и квант процессорного времени. Каждый процесс изолирован в своем адресном пространстве. Процессы взаимодействуют посредством каналов, сокетов или отображенных на память файлов – все они могут передавать только «голые» байты. Чтобы передать объект Python из одного процесса в другой, его необходимо сериализовать в виде последовательности байтов. Это дорого, и не все объекты допускают сериализацию.

Поток – единица выполнения внутри одного процесса. Сразу после запуска процесс содержит один – *главный* – поток. Процесс может создавать дополнительные потоки, которые будут работать конкурентно. Потоки внутри одного процесса разделяют общее пространство памяти. Это позволяет потокам совместно использовать данные, но может приводить к повреждению данных, если сразу несколько потоков пытаются обновить один и тот же объект. Поток потребляет меньше ресурсов, чем процесс, для выполнения одной и той же работы.

Сопрограмма – функция, которая может *приостановить* свое выполнение и продолжить позже. В Python *классические сопрограммы* строятся на основе генераторных функций, а *платформенные* определяются с помощью ключевых слов `async def`. В Python *сопрограммы* обычно исполняются *в одном потоке* под управлением *цикла событий*, который работает в том же потоке. Например, каркас `asyncio` предоставляет цикл событий и поддерживающие библиотеки для реализации неблокирующего ввода-вывода на основе сопрограмм. Каждая сопрограмма должна *явно уступать процессор* с помощью ключевого слова `yield` или `await`, чтобы другие части программы могли работать *конкурентно* (но не параллельно). Это означает, что любой блокирующий код внутри сопрограммы блокирует выполнение цикла событий и всех остальных сопрограмм.

Только один поток Python может удерживать GIL в каждый момент времени. Это означает, что только один поток может выполнять Python-код, и от числа процессорных ядер это не зависит [4, стр. 650].

Программист, пишущий на Python не может управлять GIL. Но *встроенная функция* или *расширение, написанное на C* или на любом другом языке, имеющем интерфейс к Python на уровне C API, *может освободить GIL* во время выполнения длительной задачи [4, стр. 651].

Любая стандартная библиотечная функция Python, делающая *системный вызов*¹, освобождает GIL. Сюда относятся все функции, выполняющие дисковый ввод-вывод, сетевой ввод-вывод, а также `time.sleep()`. Многие счетные функции в библиотеках `pumpy/scipy`, а также функции сжатия и распаковки из модулей `zlib` и `bz2` также освобождают GIL.

Влияние GIL на сетевое программирование с помощью потоков сравнительно невелико, потому что функции ввода-вывода освобождают GIL, а чтение или запись в сеть всегда подразумевает высокую задержку по сравнению с чтением-записью в память. Следовательно, каждый

¹Системным вызовом называется обращение из пользовательского кода к функции, находящейся в ядре операционной системы

отдельный поток все равно тратит много времени на ожидание, так что их выполнение можно чередовать без заметного снижения общей пропускной способности.

Состязание за GIL замедляет работу счетных потоков в Python. В таких случаях последовательный однопоточный код проще и быстрее.

Для выполнения счетного Python-кода на нескольких ядрах нужно использовать несколько процессов Python.

Сопрограммы по умолчанию вкупе с циклом событий *работают в одном потоке*, поэтому GIL не оказывает на них никакого влияния. Можно использовать несколько потоков в асинхронной программе, но рекомендуется, чтобы и цикл событий, и все сопрограммы исполнялись в одном потоке, а дополнительные потоки выделять для специальных задач [4, стр. 652].

Сопрограммы приводятся в действие *циклом событий*, находящимся на уровне приложения. *Цикл обработки событий управляет очередью ожидающих активаций сопрограмм*, выполняет их по одной, отслеживает события, генерируемые операциями ввода-вывода, иницированными сопрограммами, и возвращает управление соответствующей сопрограмме, когда такое событие происходит. Цикл событий, библиотечные и пользовательские сопрограммы выполняются *в одном потоке* [4, стр. 657].

`asyncio.run(coro())` вызывается из регулярной сопрограммы для управления объектом сопрограммы, который обычно является *точкой входа* в весь асинхронный код программы. Этот вызов *блокирует выполнение*, пока `coro` не вернет управление.

`asyncio.create_task(coro())` вызывается из сопрограммы, чтобы *запланировать выполнение другой сопрограммы*. Этот вызов *не приостанавливает* текущую сопрограмму. Он возвращает экземпляр `Task` – объект, который оборачивает объект сопрограммы и предоставляет методы для управления ей и опроса ее состояния.

`await coro()` вызывается из сопрограммы, чтобы передать управление объекту сопрограммы, возвращенному `coro()`. Этот вызов *приостанавливает* текущую сопрограмму до возврата из `coro`. Значением выражения `await` является значение, возвращенное `coro`.

Вызов сопрограммы как `coro()` сразу же возвращает объект сопрограммы, но не выполняет тело функции `coro`. Активация тел сопрограмм – задача цикла событий

В случае сопрограмм код по умолчанию защищен от прерывания. Требуется явно выполнить `await`, чтобы другие части программы могли поработать.

По определению в каждый момент времени может работать только одна сопрограмма. Желая добровольно отказаться от владения процессором, мы используем `await`, чтобы уступить управление планировщику. Именно поэтому сопрограмму можно безопасно отменить: по определению, сопрограмма может быть отменена только тогда, когда приостановлена в выражении `await`, и ничто не мешает произвести очистку, обработав исключение `CancelledError`.

Если задача счетная, то многопоточная программа будет медленнее, чем последовательный код, так как *растет конкуренция за процессоры и стоимость контекстного переключения*. Чтобы переключиться на другой поток, ОС должна сохранить регистры процессора и изменить счетчик программы и указатель стека, что влечет за собой дорогостоящие побочные эффекты, например недействительность процессорных кешей и, возможно, выгрузку страниц памяти [4, стр. 673].

Благодаря GIL интерпретатор работает быстрее на одном ядре, а его реализация упрощается. Кроме того, GIL упрощает написание простых расширений с помощью Python/C API.

Сопрограммы лучше масштабируются, потому что потребляют гораздо меньше памяти, чем потоки, а также уменьшают стоимость контекстного переключения [4, стр. 693].

Основой пакета `concurrent.futures` являются классы `ThreadPoolExecutor` и `ProcessPoolExecutor`, которые реализуют API, позволяющий передавать вызываемые объекты соответственно потокам или процессам. Оба класса прозрачно управляют внутренним пулом рабочих потоков или процессов и очередью подлежащих выполнению задач.

Максимальное число исполняемых *потоков* `max_workers` (если равно `None`), начиная с версии Python 3.8, вычисляется как [4, стр. 697]

```
max_workers = min(32, os.cpu_count() + 4)
```

Это значение по умолчанию оставляет как минимум 5 исполнителей для задач ввода-вывода. Оно позволяет задействовать не более 32 процессорных ядра для счетных задач. А это позволяет избежать чрезмерного потребления ресурсов на многоядерных машинах.

16.1. Где находятся будущие объекты?

В стандартной библиотеке есть два класса с именем `Future`: `concurrent.futures.Future` и `asyncio.Future`. Экземпляр класса `Future` представляет некое *отложенное вычисление*, завершившееся или нет [4, стр. 698].

Будущие объекты инкапсулируют *ожидающие операции*, так что их можно помещать в очереди, опрашивать состояние завершения и получать результаты (или исключения), когда они станут доступны.

Важно понимать, что будущие объекты не следует создавать напрямую: предполагается, что их создает исключительно используемая библиотека, будь то `concurrent.futures` или `asyncio`. Легко понять, почему это так: объект `Future` представляет нечто, что должно случиться когда-то в будущем, а единственный способ гарантировать, что это действительно случится, – запланировать выполнение объекта.

Прикладной код не должен изменять состояние будущего объекта: его изменит каркас конкурентности, когда представляемое этим объектом вычисление завершится, а мы не можем управлять тем, когда это произойдет.

Метод `.result()` одинаково работает в обоих классах в ситуации, когда выполнение будущего объекта завершено: либо возвращает результат вызываемого объекта, либо повторно возбуждает исключение, возникшее во время выполнения. Но если выполнение будущего объекта еще не завершено, то метод `result` ведет себя совершенно по-разному. В объекте класса `concurrent.futures.Future` вызов `f.result()` *блокирует* вызывающий поток до тех пор, пока не будет готов результат. Метод `asyncio.Future.result` не поддерживает задание тайм-аута, а рекомендуемый способ получения результата будущего объекта заключается в использовании `await` – к объектам класса `concurrent.futures.Future` этот подход не применим.

Функция `concurrent.futures.as_completed` принимает итерируемый объект, содержащий будущие объекты, и возвращает итератор, который *отдает* будущие объекты *по мере их завершения*.

Процессы потребляют больше памяти и запускаются дольше, чем потоки, поэтому ценность `ProcessPoolExecutor` становится очевидной только для счетных задач [4, стр. 701].

Функцией `executor.map` пользоваться легко, но зачастую желетально получать результаты по мере готовности вне зависимости от порядка подачи исходных данных. Для этого нужна комбинация метода `executor.submit` и функции `futures.as_completed`. Комбинация `executor.map` и `futures.as_completed` обладает большей гибкостью, чем `executor.map`, потому что ей можно

подавать различные вызываемые объекты и аргументы, тогда как `executor.map` предназначена для выполнения одного и того же вызываемого объекта с разными аргументами [4, стр. 706].

Метод `executor.submit` планирует выполнение одного вызываемого объекта и возвращает экземпляр класса `Future`. Первый аргумент – сам вызываемый объект, остальные – передаваемые ему аргументы.

17. Асинхронное программирование

Начиная с версии Python 3.5 предлагается 3 вида сопрограмм:

1. *Платформенная сопрограмма* – функция, определенная с помощью конструкции `async def`. Можно делегировать работу от одной платформенной сопрограммы другой, воспользовавшись ключевым словом `await`. Предложение `async def` всегда определяется платформенную сопрограмму, даже если в ее теле не встречается ключевое слово `await`. Ключевое слово `await` нельзя использовать вне платформенной сопрограммы.
2. *Классическая сопрограмма* – генераторная функция, которая потребляет данные, отправленные ей с помощью вызовов `my_coro.send(data)`, и читает эти данные, используя `yield` в выражении.
3. *Генераторная сопрограмма* – генераторная функция, снабженная декоратором `@types.coroutine`. Этот декоратор делает генератор совместимым с новым ключевым словом `await`.

Асинхронный генератор – генераторная функция, определенная с помощью конструкции `async def` и содержащая в теле `yield`. Она возвращает *асинхронный объект-генератор*, предоставляющий метод `__anext__` для асинхронного получения следующего элемента.

Пример

```
import asyncio
import socket
from keyword import kwlist

MAX_KEYWORD_LEN = 4

async def probe(domain: str) -> tuple[str, bool]:
    loop = asyncio.get_running_loop()
    try:
        await loop.getaddrinfo(domain, None)
    except socket.gaierror:
        return (domain, False)

    return (domain, True)

async def main() -> None:
    names = (kw for kw in kwlist if len(kw) <= MAX_KEYWORD_LEN)
    domains = (f"{name}.dev".lower() for name in names)
    coros = [probe(domain) for domain in domains]
    for coro in asyncio.as_completed(coros):
        domain, found = await coro
        mark = "+" if found else " "
        print(f"{mark} {domain}")

if __name__ == "__main__":
    asyncio.run(main())
```


Получить ссылку на цикл обработки событий `asyncio` для будущего использования. Функция `main` должна быть сопрограммой, чтобы в ней можно было использовать `await`. Генератор `asyncio.as_completed` отдает переданные ему сопрограммы *в порядке их завершения*, а не в порядке подачи (как и `executor.as_completed`). `await` в `main` не может заблокировать выполнение, так как `as_completed` отдает уже завершенные сопрограммы, но оно все равно необходимо, чтобы получить результат от `coro`.

`asyncio.run` запускает цикл обработки событий и возвращает управление только после выхода из него. Это типичный паттерн для скриптов, в которых используется `asyncio`: реализовать `main` как сопрограмму и выполнить ее внутри блока `if __name__ == "__main__"`.

`asyncio.as_completed` и `await` могут применяться не только к сопрограммам, но и к *допускающим ожидание объектам*.

Ключевое слово `for` работает с *итерируемыми объектами*. А ключевое слово `await` – с объектами, *допускающими ожидание*.

Конечный пользователь `asyncio` постоянно сталкивается со следующими объектами, допускающими ожидание:

- объект платформенной сопрограммы, который мы получаем в результате вызова функции платформенной сопрограммы,
- `asyncio.Task`, который мы обычно получаем, передав объект сопрограммы функции `asyncio.create_task()`.

Если вы не собираетесь отменять задачу или ждать ее завершения, то и не нужно хранить объект `Task`, возвращенный функцией `create_task`. Достаточно просто создать задачу, чтобы запланировать выполнение сопрограммы.

С другой стороны, мы используем `await other_coro()` (в точках `await` сопрограмма приостанавливается и уступает управление циклу событий), чтобы *выполнить other_coro немедленно и дождаться ее завершения*, потому что для продолжения работы нужен ее результат, например, `res = await slow()`.

В синхронной программе пользовательская функция запускает цикл событий, планируя начальную сопрограмму с помощью вызова `asyncio.run`. Каждая пользовательская сопрограмма отдает управление следующей с помощью выражения `await`, формируя канал, по которому взаимодействуют библиотека типа `HTTPX` и цикл событий.

Цепочка `await` в конце концов достигает низкоуровневого объекта, допускающего ожидание, который возвращает генератор, к которому цикл событий может обращаться в ответ на такие события, как срабатывания таймера или сетевой ввод-вывод.

Используя функции типа `asyncio.gather` и `asyncio.create_task`, можно создать *несколько конкурентных каналов await*, что позволяет *конкурентно выполнять несколько операций ввода-вывода в одном цикле событий в одном потоке* [4, стр. 728].

Для достижения максимальной производительности при работе с `asyncio` мы должны заменить все функции, осуществляющие ввод-вывод, асинхронными версиями, которые активируются в результате выполнения `await` или `asyncio.create_task`, для того чтобы управление возвращалось циклу событий, пока функция ждет завершения ввода-вывода.

Если не удастся переписать блокирующую функцию как сопрограмму, то ее следует запускать в отдельном потоке или процессе.

17.1. Асинхронные менеджеры контекста

Пример из документации по драйверу PostgreSQL `asyncpg`

```
tr = connection.transaction()
await tr.start()
try:
    await connection.execute("INSERT INTO mytable VALUES (1, 2, 3)")
except:
    await tr.rollback()
    raise
else:
    await tr.commit()
```

Транзакция базы данных естественно ложится на протокол контекстного менеджера: транзакцию нужно начать, изменить данные в `connection.execute`, а затем зафиксировать или откатить в зависимости от того, как прошли изменения.

С помощью `async with` этот пример можно переписать так

```
async with connection.transaction():
    await connection.execute("INSERT INTO mytable VALUES (1, 2, 3)")
```

`asyncpg` позволяет обойти отсутствие в PostgreSQL поддержки высокой конкурентности, поскольку реализует пул подключений для внутреннего подключения к самой PostgreSQL.

Файловый ввод-вывод – блокирующая операция в том смысле, что чтение и запись файлов занимают в тысячи раз больше времени, чем чтение-запись в память.

Начиная с Python 3.9 сопрограмма `asyncio.to_thread` упрощает делегирование файлового ввода-вывода пулу потоков, представляемому библиотекой `asyncio`

```
...
await asyncio.to_thread(save_flag, image, f"{cc}.gif")
```

Сохранение изображения – операция ввода-вывода. Чтобы избежать блокирования цикла событий, функция `save_fig` выполняется в отдельном потоке.

Сетевые клиенты следует *дресселировать* (то есть ограничивать), чтобы избежать затопления сервера слишком большим количеством конкурентных запросов.

Семафор – это примитив синхронизации, более гибкий, чем блокировка. Семафор могут удерживать несколько сопрограмм, причем максимальное их число настраивается.

Эффект дресселирования можно достичь путем создания, например, объекта `ThreadPoolExecutor`.

В классе `asyncio.Semaphore` имеется внутренний счетчик, который уменьшается на 1 всякий раз, как выполняется `await` для метода-сопрограммы `.acquire()`, и увеличивается на 1 при вызове метода `.release()`, который не является сопрограммой, потому что никогда не блокирует выполнение.

Ожидание `.acquire()` не приводит к задержке, когда счетчик больше 0, не если счетчик равен 0, то `.acquire()` приостанавливает ожидающую сопрограмму до тех пор, пока какая-нибудь другая сопрограмма не вызовет `.release()` для того же семафора, увеличив тем самым счетчик.

Начальное значение счетчика задается при создании объекта семафор

```
semaphore = asyncio.Semaphore(concur_req).
```

Безопаснее использовать `semaphore` как асинхронный контекстный менеджер

```
async with semaphore:
    image = await get_flag(client, base_url, cc)
```


Этот код гарантирует, что в любой момент времени будет активно не более `concur_req` экземпляров сопрограммы `get_flags` [4, стр. 734].

С помощью `await` нужно ждать завершения сопрограмм и других объектов, допускающих ожидание, например экземпляров класса `asyncio.Task` [4, стр. 738].

В Python *чтение и запись* в асинхронном приложении в систему хранения в *главном потоке блокирует* цикл обработки событий [4, стр. 739].

Сопрограмма `asyncio.to_thread` была добавлена в Python 3.9. Если необходимо поддерживать версии 3.7 или 3.8, то эту строку можно заменить следующими строками [4, стр. 739]

```
loop = asyncio.get_running_loop() # получить ссылку на цикл событий
loop.run_in_executor(
    None, # исполнитель; по умолчанию экземпляр ThreadPoolExecutor
    save_fig,
    image,
    f"{cc}.gif"
)
```

Использование `run_in_executor` может приводить к трудным для отладки проблемам, потому что отмена не всегда работает, как ожидается. Сопрограммы, в которых используются исполнители, только делают вид, что отменились: для стоящего за ними потока (если это `ThreadPoolExecutor`) нет никакого механизма отмены.

17.2. Асинхронные итераторы и итерируемые объекты

`async_for` работает с *асинхронными итерируемыми объектами*, то есть объектами, реализующими метод `__aiter__`. Однако `__aiter__` должен быть обычным методом, а не сопрограммой, и возвращать *асинхронный итератор*.

Асинхронный итератор предоставляет метод-сопрограмму `__anext__`, который возвращает допускающий ожидание объект, чаще всего объект сопрограммы. Ожидается также, что он реализует метод `__aiter__`, который обычно возвращает `self`.

17.3. Асинхронные генераторные функции

Для реализации асинхронного итератора нужно написать класс с методами `__anext__` и `__aiter__`, но есть способ проще: написать функцию, объявленную как `async_def` и содержащую в теле `yield`.

18. Метапрограммирование

Интерпретатор вызывает специальный метод `__getattr__`, только если обычный поиск атрибута завершается неудачно (то есть именованный атрибут не удастся найти ни в экземпляре, ни в классе, ни в его суперклассах) [4, стр. 776].

В Python метод `__init__` получает `self` в качестве первого аргумента, поэтому к моменту вызова `__init__` интерпретатором объект уже существует. Кроме того, `__init__` не может ничего возвращать, так что в действительности это *инициализатор*, а не *конструктор* [4, стр. 779].

Когда класс вызывается для создания экземпляра, Python вызывает специальный метод класса `__new__`. Хотя это метод класса, обрабатывается он не так, как другие: к нему не применяется декоратор `@classmethod`. Python принимает экземпляр, возвращенный `__new__`, и передает его в качестве первого аргумента `self` методу `__init__`.

Чтение или запись напрямую в атрибут объекта `__dict__` является общепринятой практикой метапрограммирования в Python.

Создание атрибута *после инициализации экземпляра* отменяет оптимизацию, описанную в документе PEP 412 «Key-Sharing Dictionary». В зависимости от размера набора данных разница в потреблении памяти может оказаться существенной

Пример самодельного кеширования, не противоречащего оптимизации разделения ключей [4, стр. 789]

```
class Event(Record):
    def __init__(self, **kwargs):
        self.__speaker_objs = None # NB! Атрибут экземпляра создается здесь
        super().__init__(**kwargs)

    @property
    def speakers(self):
        if self.__speakers_objs is None:
            spkr_serials = self.__dict__["speakers"]
            fetch = self.__class__.fetch
            # А здесь атрибут экземпляра перепривязывается
            self.__speaker_objs = [fetch(f"speaker.{key}") for key in spkr_serials]
        return self.__speaker_objs
```

Однако в многопоточных программах подобные самодельные кешы приводят к состоянию гонки и потенциальному повреждению данных.

NB: *свойство маскирует* атрибут экземпляра с тем же именем! [4, стр. 790]

Декоратор `@cached_property` не создает полноценного свойства, он создает *непереопределяющий дескриптор*. Дескриптор – объект, который управляет доступом к атрибуту в другом классе.

К слову, `property` – это высокоуровневый API для создания *переопределяющего дескриптора*. Декоратор `@cached_property` имеет несколько важных ограничений [4, стр. 790]:

- о его нельзя использовать в качестве замены `@property`, если декорируемый метод уже зависит от существования одноименного атрибута экземпляра,
- о его нельзя использовать в классе, где определен атрибут `__slots__`,
- о он *подавляет оптимизацию* разделения ключей в экземпляре `__dict__`, потому что создает атрибут экземпляра *после* `__init__`.

В документации по `@cached_property` рекомендуется альтернативное решение, которое можно применить к методу `speakers`: образовать композицию декораторов `@property` и `@cache`

```
# Порядок важен!
@property
@cache
def speakers(self):
    spkr_serials = self.__dict__["speakers"]
    fetch = self.__class__.fetch
    return [fetch(f"speakers.{key}") for key in spkr_serials]
```

Существует два способа абстрагировать определение свойств [4, стр. 793]:

- о фабрика свойств,
- о дескрипторный класс.

Встроенная функция `property` часто используется как декоратор, но в действительности она является классом. В Python функции и классы нередко взаимозаменяемы, поскольку являются

вызываемыми объектами и не существует оператора `new` для создания объекта, поэтому вызов конструктора ничем не отличается от вызова фабричной функции. Как функцию, так и класс можно использовать в качестве декоратора, при условии что они возвращают новый вызываемый объект, являющийся подходящей заменой декорированной функции.

Свойства всегда являются атрибутами класса, но на самом деле они управляют доступом к атрибутам в экземплярах этого класса.

При вычислении выражения вида `obj.data` поиска `data` начинается с класса, а не с экземпляра класса [4, стр. 797].

Следует считать, что *специальные методы ищутся в самом классе*, даже если вызываются от имени экземпляра. По этой причине специальные методы не маскируются одноименными атрибутами экземпляра [4, стр. 804].

Метод `__getattr__` всегда вызывается после `__getattribute__` и только в том случае, когда `__getattribute__` возбуждает исключение `AttributeError` [4, стр. 805].

18.1. Дескрипторы атрибутов

Дескрипторы – это класс, который реализует динамический протокол, содержащий методы `__get__`, `__set__` и `__delete__`.

Класс `property` реализует весь протокол дескриптора. Как обычно, разрешается реализовать протокол частично. На самом деле большинство дескрипторов, встречающихся в реальных программах, реализуют только методы `__get__` и `__set__`, а многие – и вовсе лишь один из них. Пользовательские функции – это дескрипторы.

Класс, в котором реализован хотя бы один из методов `__get__`, `__set__` или `__delete__`, является дескриптором. Для использования дескриптора мы объявляем его экземпляры как атрибуты класса какого-то другого класса [4, стр. 811].

Для поддержки интроспекции и других приемов метапрограммирования пользователям рекомендуется возвращать из `__get__` экземпляр дескриптора, если доступ к управляемому атрибуту производится через класс. Пример [4, стр. 814]

```
def __get__(self, instance, owner):
    if instance is None:
        return self
    else:
        return instance.__dict__[self.storage_name]
```

В методе `__set__` `self` – это экземпляр дескриптора, а `instance` – это экземпляр управляемого класса.

Чтобы не набирать повторно имя атрибута в объявлении дескриптора, мы реализуем специальный метод `__set_name__`, который будет устанавливать атрибут в каждом экземпляре дескриптора. Этот метод был добавлен в протокол дескрипторов в версии Python 3.6.

Интерпретатор вызывает `__set_name__` для каждого дескриптора, который находит в теле управляемого класса, – если дескриптор реализует его. Пример

```
class Quantity:
    """
    Дескрипторный класс
    """
    def __set_name__(self, owner, name):
        self.storage_name = name
```

```

def __set__(self, instance, value):
    if value > 0:
        instance.__dict__[self.storage_name] = value
    else:
        msg = f"{self.storage_name} must be > 0"
        raise ValueError(msg)

# def __get__ # Не нужен

class LineItem:
    """
    Управляемый класс
    """
    weight = Quantity()
    price = Quantity()

    def __init__(self, description, weight, price):
        self.description = description
        self.weight = weight
        self.price = price

    def subtotal(self):
        return self.weight * self.price

```

`self` – экземпляр дескриптора, `owner` – управляемый класс, а `name` – имя атрибута `owner`.

Реализовывать метод `__get__` необязательно, потому что имя *атрибута хранения* совпадает с именем *управляемого атрибута*. Выражение `product.price` получает атрибут `price` непосредственно из экземпляра `LineItem`.

Обычно мы не определяем дескриптор в том же модуле, в каком он используется, а заводим отдельный служебный модуль, предназначенный для использования во всем приложении, а то и во многих приложениях, если разрабатывается библиотека или каркас.

Паттерн *самodelегирования* (чаще его называют *паттерном Шаблонный метод*)

```

import abc

class Validated(abc.ABC):
    def __set_name__(self, owner, name):
        self.storage_name = name

    def __set__(self, instance, value):
        value = self.validate(self.storage_name, value)
        instance.__dict__[self.storage_name] = value

    @abc.abstractmethod
    def validate(self, name, value):
        """Вернуть проверенное значение или возбудить ValueError"""

```

Метод `__set__` делегирует проверку методу `validate`, который нужно переопределить в подклассе.

Пишем конкретные подклассы

```

class Quantity(Validated):
    """Число, большее нуля"""
    def validate(self, name, value):
        if value <= 0:
            raise ValueError(f"{name} must be > 0")
        return value

```

```
class NonBlank(Validated):
    """Строка, содержащая хотя бы один символ, отличный от пробела"""
    def validate(self, name, value):
        value = value.strip()
        if not value:
            raise ValueError(f"{name} cannot be blank")
        return value
```

Если требуется задействовать не только целевой атрибут, значение которого валидируется, но в том числе и прочие атрибуты, то можно делать так

```
class ConsistencyValidator:
    """Checks consistency for 'problem' and 'params' attrs"""
    def __set_name__(self, owner, name):
        self.storage_name = name

    def __set__(self, instance, value):
        if self.storage_name == "problem":
            _values = ("problem", value, "path_to_problem", instance.path_to_problem)

            if (value is not None) and (instance.path_to_problem is not None):
                raise ValueError(ERROR_CHOOSE_ONE_THING_MSG.format(*_values))
            elif (value is None) and (instance.path_to_problem is None):
                raise ValueError(ERROR_SET_EITHER_MSG.format(*_values))
            elif self.storage_name == "params":
                _values = ("params", value, "path_to_params", instance.path_to_params)

                if (value is not None) and (instance.path_to_params is not None):
                    raise ValueError(ERROR_CHOOSE_ONE_THING_MSG.format(*_values))
                elif (value is None) and (instance.path_to_params is None):
                    raise ValueError(ERROR_SET_EITHER_MSG.format(*_values))
            else:
                raise ValueError(
                    "Error! this validator only makes sense "
                    "for the 'problem' and 'params' parameters"
                )

instance.__dict__[self.storage_name] = value
```

Или так, в более компактной форме

```
class ConsistencyValidator:
    """Checks consistency for 'problem' and 'params' attrs"""

    def __set_name__(self, owner, name):
        self.storage_name = name

    def __set__(self, instance, value):
        if self.storage_name in {"problem", "params"}:
            _attr_name = self.storage_name
            _attr_path_name = f"path_to_{_attr_name}"
            _record = (
                _attr_name,
                value,
                _attr_path_name,
                operator.attrgetter(_attr_path_name)(instance),
            )
        else:
            raise ValueError(
                f"Error! Validator {type(self).__name__!r} only makes sense "
                "for the 'problem' and 'params' attributes. "
            )
```

```

        f"And you're trying to apply it to an attribute: {self.storage_name!r}"
    )

    if (value is not None) and (_record[-1] is not None):
        raise ValueError(ERROR_CHOOSE_ONE_THING_MSG.format(*_record))
    elif (value is None) and (_record[-1] is None):
        raise ValueError(ERROR_SET_EITHER_MSG.format(*_record))

    instance.__dict__[self.storage_name] = value

```

В Python существует важная асимметрия. При чтении атрибута через экземпляр обычно возвращается атрибут, определенный в этом экземпляре, а если такого атрибута в экземпляре не существует, то атрибут класса. С другой стороны, в случае *присваивания* атрибуту экземпляра обычно создается атрибут в этом экземпляре, а класс вообще никак не задействуется.

Эта асимметрия распространяется и на дескрипторы, в результате чего образуются две категории дескрипторов, различающиеся наличием или отсутствием метода `__set__`. Если `__set__` присутствует, то класс является *переопределяющим дескриптором*, а иначе *непереопределяющим* [4, стр. 820].

18.2. Переопределяющие и непереопределяющие дескрипторы

Дескриптор, в котором реализован метод `__set__`, называется *переопределяющим*, потому что, несмотря на то что этот дескриптор является *атрибутом класса*, он перехватывает все попытки присвоить значение *атрибутам экземпляра*.

Свойства также являются переопределяющими дескрипторами: если мы не предоставим свою функцию установки, то по умолчанию будет использован метод `__set__` из класса `property`, который возбуждает исключение `AttributeError`, показывающее, что атрибут можно *только читать* [4, стр. 822].

Дескрипторные атрибуты можно затереть путем присваивания на уровне класса [4, стр. 825].

Методы являются *непереопределяющими дескрипторами*, так как не реализован метод `__set__`. И вообще *любая функция* является *непереопределяющим дескриптором* [4, стр. 827].

18.3. Советы по использованию дескрипторов

- Встроенный класс `property` создает *переопределяющие дескрипторы*, в которых реализованы оба метода `__set__` и `__get__`, даже если вы сами не задавали метод установки.
- Если вы используете дескрипторный класс для реализации атрибута, допускающего *только чтение*, то не забывайте реализовать *оба метода* `__get__` и `__set__`, иначе одноименный атрибут экземпляра замаскирует дескриптор. Метод `__set__` атрибута, доступного *только для чтения*, должен *просто возбуждать исключение* `AttributeError` с подходящим сообщением.
- Если дескриптор предназначен только для проверки значений, то метод `__set__` должен проверять полученный аргумент `value` и, если он правилен, устанавливать значение непосредственно в атрибуте `__dict__` экземпляра, используя в качестве ключа имя экземпляра дескриптора. Тогда чтение атрибута с таким же именем из экземпляра будет производиться максимально быстро, так как не требует наличия метода `__get__`.

- Если написать только метод `__get__`, то получится *непереопределяющий дескриптор*. Они полезны, когда требуется выполнить накладные вычисления и кешировать результат, установив атрибут экземпляра с таким же именем².
- Неспециальные методы можно замаскировать атрибутами экземпляра, однако на специальные методы это не распространяется. *Специальные методы интерпретатор ищет только в самом классе*, то есть `repr(x)` всегда вычисляется как `x.__class__.__repr__(x)`.

Еще раз, `property` – это *переопределяющий* дескриптор (есть метод `__set__`, который возбуждает исключение `AttributeError`), а вот `@functools.cached_property` порождает *непереопределяющий* дескриптор.

18.4. Основы метаклассов

Метакласс – фабрика классов. Иными словами, *метакласс* – это класс, экземплярами которого являются *классы* [4, стр. 854].

В объектной модели Python *классы* являются *объектами*, поэтому каждый класс должен быть экземпляром какого-то другого класса. По умолчанию классы Python являются *экземплярами* класса `type`. Иными словами, `type` – метакласс для большинства встроенных и пользовательских классов.

Любой класс является экземпляром `type`, прямо или косвенно, но только метаклассы являются также подклассами `type` [4, стр. 856].

Например, `object` и `ABCMeta` – экземпляры `type`, но `ABCMeta` – еще и подкласс метакласса `type`, поскольку `ABCMeta` является метаклассом.

19. Замечание о пользовательских пакетах

При написании пользовательских пакетов файл зависимостей должен быть как можно менее ограничительным

requirements.txt

```
# Data
numpy >= 1.16.0, !=1.24.0
pandas >= 1.1.0, < 1.3.0; python_version == '3.7'
pandas >= 1.3.0; python_version >= '3.8'
scipy >= 1.9.3; python_version >= '3.8'

# Parallelization
joblib >= 1.2.0; python_version >= '3.8'

# Models and frameworks
scikit-learn >= 1.0.0; python_version >= '3.8'
pyod >= 1.0.7; python_version >= '3.8'

# Optimization and solvers
# pyomo >= 6.4.2; python_version >= '3.8'
# PySCIPOpt installed using environment.yaml file of conda package manager
pyscipopt >= 4.3.0; python_version == '3.8'

# Plotting
```

²Однако, создание атрибутов экземпляра после выполнения метода `__init__` отключает оптимизацию разделения ключей

```

matplotlib >= 3.3.1; python_version >= '3.8'

# Misc
pathlib2 >= 2.3.7
python-dotenv >= 0.21.0
pyyaml >= 6.0
tqdm
psutil >= 5.7.3

# Tests
pytest >= 6.2.0

```

Файл `setup.py` может выглядеть так

```

from pathlib import Path
from typing import List

import setuptools

# The directory containing this file
HERE = Path(__file__).parent.resolve()

# The text of the README file
NAME = "zyopt"
VERSION = "0.0.1"
AUTHOR = "Digital Industrial Platform"
SHORT_DESCRIPTION = (
    "Add-in for the SCIP solver with support for heuristics, "
    "classical machine learning and deep learning methods"
)
README = Path(HERE, "README.md").read_text(encoding="utf-8")
URL = ""
REQUIRES_PYTHON = ">=3.8"
LICENSE = "BSD 3-Clause"

def _readlines(*names: str, **kwargs) -> List[str]:
    encoding = kwargs.get("encoding", "utf-8")
    lines = Path(__file__).parent.joinpath(*names).read_text(encoding=encoding).splitlines()
    return list(map(str.strip, lines))

def _extract_requirements(file_name: str):
    return [line for line in _readlines(file_name) if line and not line.startswith("#")]

def _get_requirements(req_name: str):
    requirements = _extract_requirements(req_name)
    return requirements

setuptools.setup(
    name=NAME,
    version=VERSION,
    author=AUTHOR,
    author_email="itmo.nss.team@gmail.com",
    description=SHORT_DESCRIPTION,
    long_description=README,
    long_description_content_type="text/x-rst",
    url=URL,

```



```
python_requires=REQUIRES_PYTHON,
license=LICENSE,
packages=setuptools.find_packages(exclude=["test*"]),
include_package_data=True,
install_requires=_get_requirements("requirements.txt"),
classifiers=[
    "License :: OSI Approved :: BSD License",
    "Programming Language :: Python :: 3.8",
    "Programming Language :: Python :: 3.9",
    "Programming Language :: Python :: 3.10",
],
)
```

Сборка выполняется в корне проекта

```
$ python setup.py sdist bdist_wheel
```

Если все прошло успешно, то теперь можно опубликовать пакет на TestPyPI с помощью утилиты `twine`

```
$ twine upload -r testpypi dist/* --verbose
```

Посмотреть, что получилось можно на https://test.pypi.org/project/my_prjoect_name/. Для проверки работоспособности пакета нужно его поставить на локальную машину

```
$ pip install --index-url https://test.pypi.org/simple/ \
  --extra-index-url https://pypi.org/simple my_package_name
```

ВАЖНО! Флаг `--extra-index-url` нужен, чтобы `pip` мог при установке извлекать зависимости с PyPI.

И, наконец, если все устраивает, то можно опубликовать пакет на PyPI

```
$ twine upload dist/*
```

20. Инвариантность, ковариантность и контрвариантность

Обобщенный класс с ковариантным параметром типа

```
T_co = TypeVar("T_co", covariant=True)

class BeverageDispenser(Generic[T_co]):
    def __init__(self, beverage: T_co) -> None:
        self.beverage = beverage

    def dispense(self) -> T_co:
        return self.beverage

def install(dispenser: BeverageDispenser[Juice]) -> None:
    """..."""
```

По соглашению суффикс `_co` в `typed` обозначает ковариантные параметры-типы.

Ковариантность: связь тип-подтип между параметризованными классами изменяется в том же направлении, что и связь тип-подтип между параметрами-типами [4, стр. 516].

Пример на контрвариантность

```
from typing import TypeVar, Generic
```

```

class Refuse:
    """..."""

class Biodegradable(Refuse):
    """..."""

class Compostable(Biodegradable):
    """..."""

T_contra = TypeVar("T_contra", contravariant=True)

class TrashCan(Generic[T_contra]):
    def put(self, refuse: T_contra) -> None:
        """..."""

def deploy(trash_can: TrashCan[Biodegradable]):
    """..."""

```

`T_contra` – принятое по соглашению имя котравариантной переменной-типа.

20.1. Обзор инвариантности

20.1.1. Инвариантные типы

Обобщенный тип `L` *инвариантен*, если между двумя параметризованными типами нет отношения тип-подтип, даже если такое отношение существует между фактическими параметрами. Иными словами, если `L` инвариантен, то `L[A]` не является не подтипом, ни супертипом `L[B]`. Они *несовместимы* в обоих направлениях.

Изменяемые типы в Python по умолчанию инвариантны. Например, `list[int]` не совместим с `list[float]`, и наоборот.

В общем случае, если формальный параметр-тип встречается в аннотациях типов аргументов метода и тот же параметр встречается в типе возвращаемого методом значения, то параметр должен быть *инвариантен*, чтобы гарантировать *типобезопасность* при *обновлении* коллекции и *чтении* из нее [4, стр. 518].

20.1.2. Ковариантные типы

Некоторые авторы используют символы `<:` и `:>`, чтобы обозначить следующие отношения: `A :> B` означает, что `A` является супертипом `B`.

Если `A :> B`, то обобщенный тип `C` ковариантен, когда `C[A] :> C[B]`. Направление символа `:>` одинаково в обоих случаях, когда `A` встречается слева от `B`. Ковариантные обобщенные типы повторяют отношение тип-подтип между фактическими параметрами-типами.

Например

```

float :> int
frozenset[float] :> frozenset[int]

```

Любой код, ожидающий итератор `abc.Iterator[float]`, который отдает числа с плавающей точкой, может безопасно использовать итератор `abc.Iterator[int]`, отдающий целые числа. По той же причине типы `Callable` ковариантны относительно типа возвращаемого значения [4, стр. 519].

20.2. Контравариантные типы

Если $A \rightarrow B$, то обобщенный тип K контравариантен, если $K[A] \sqsubseteq K[B]$. Контравариантные обобщенные типы обращают связь тип-подтип между фактическими параметрами-типами.

Пример может служить класс `TrashCan`

```
Refuse :> Biodegradable
TrashCan[Refuse] <: TrashCan[Biodegradable]
```

Контравариантный контейнер обычно представляет собой структуру данных, предназначенную только для записи и называемую «стоком». В стандартной библиотеке нет таких коллекций, но есть несколько типов с контравариантными параметрами-типами.

Тип `Callable[[ParamType, ...], ReturnType]` контравариантен относительно параметров-типов, но ковариантен относительно `ReturnType` [4, стр. 519]. Главное то, что *контравариантные* формальные параметры определяют *типы аргументов*, используемых для вызова или отправки данных объекту, тогда как *ковариантные* формальные параметры определяют *типы выходов*, порожаемых объектов, – тип отдаваемого или возвращаемого значения, в зависимости от объекта.

20.2.1. Эвристические правила вариантности

Несколько эвристических правил [4, стр. 520]:

- Если формальный параметр-тип определяет тип данных, *исходящих* из объекта, то он может быть *ковариантным*.
- Если формальный параметр-тип определяет тип данных, *входящих* в объект после его начального конструирования, то он может быть *контравариантным*.
- Если формальный параметр-тип определяет тип данных, *исходящих* из объекта, и тот же параметр определяет тип данных, *входящих* в объект, то он должен быть *инвариантным*.
- Чтобы ненароком не допустить ошибку, делайте формальные параметры инвариантными.

Тип `Callable[[ParamType, ...], ReturnType]: ReturnType` *ковариантный*, а каждый `ParamType` *контравариантный* [4, стр. 520]. По умолчанию `TypeVar` создает инвариантные формальные параметры, и именно так аннотированы изменяемые коллекции в стандартной библиотеке.

Пример обобщенного типа с ковариантным формальным параметром-типом

```
from typing import Protocol, runtime_checkable, TypeVar

T_co = TypeVar("T_co", covariant=True)

@runtime_checkable
class RandomPicker(Protocol[T_co]):
    def pick(self) -> T_co:
        ...
```

Обобщенный протокол `RandomPicker` может быть ковариантным, потому что его единственный формальный параметр встречается в *типе возвращаемого значения*.

21. Передача параметров и возвращаемые значения

В книге Ромальо [4, стр. 219] говорится, что в Python единственный способ передачи параметров – *вызов по соиспользованию* (call by sharing). Вызов по соиспользованию означает, что каж-

дый формальный параметр функции получает *копию ссылки* на фактический аргумент. Иначе говоря, внутри функции *параметры* становятся *псевдонимами* фактических аргументов.

Параметры функции, которые передаются ей при вызове, являются *обычными именами*, ссылающимися на *входные объекты*. Семантика передачи параметров в языке Python не имеет точного соответствия какому-либо одному способу, такому как «передача по значению» или «передача по ссылке». Например, если функции передается *неизменяемое* значение, это выглядит, как передача аргумента *по значению*. Однако при передаче *изменяемого* объекта (такого как список или словарь), который модифицируется функцией, эти изменения *будут отражаться на исходном объекте* [1, стр. 133].

22. Значения по умолчанию изменяемого типа: неудачная мысль

Не следует использовать в качестве значений по умолчанию изменяемые объекты. Проблема в том, что все экземпляры `HauntBus`, конструктору которых не был явно передан список пассажиров, разделяют один и тот же список по умолчанию.

Беда в том, что любое значение по умолчанию вычисляется один раз в момент определения функции, то есть обычно на этапе загрузки модуля, после чего значения по умолчанию становятся атрибутами объекта-функции. Так что если значение по умолчанию – изменяемый объект и вы его изменили, то изменение отразится и на всех последующих вызовах.

23. Сопоставление с последовательностями-образцами

Пример

```
metro_areas: t.List[t.Tuple[str, str, float, t.Tuple[float, float]]] = [
    ("Tokyo", "JP", 36.933, (35.689, 139.693)),
    ("Delhi NCR", "IN", 21.935, (28.61, 77.21)),
    ...
]

def main():
    for record in metro_areas:
        match record: # record это субъект
            case [name, _, _, (lat, lon)] if lon <= 0:
                print(...)
```

Образцы можно сделать более специфичными, добавив информацию о типе

```
case [str(name), _, _, (float(lat), float(lon))]:
    ...
```

С другой стороны, если мы хотим произвести сопоставление произвольной последовательности-субъекта, начинающейся с `str` и заканчивающейся вложенной последовательностью из двух `float`, то можно написать

```
case [str(name), *_ , (float(lat), float(lon))]:
    ...
```

Замечание

Важное соглашение в Python API: функции и методы, изменяющие объект на месте, должны возвращать `None`, давая вызывающей стороне понять, что изменился сам объект в противовес созданию нового [4, стр. 81]

Замечание

Кратная конкатенация *неизменяемых последовательностей* выполняется **неэффективно**, потому что вместо добавления элементов интерпретатор вынужден **копировать всю конечную последовательность**, чтобы создать новую с добавленными элементами. Тип `str` – исключение из этого правила. Поскольку построение строки с помощью оператора `+=` в цикле – весьма распространенная операция, в CPython этот случай *оптимизирован*. Экземпляры `str` создаются с *запасом памяти*, чтобы при конкатенации не приходилось каждый раз копировать всю строку [4, стр. 79]

Замечание

Большинство функций `numpy` и `scipy` написаны на C или C++ и могут задействовать все доступные ядра процессора, так как освобождают глобальную блокировку интерпретатора [4, стр. 90]

24. Правила видимости в функциях

При каждом вызове функции создается новое локальное пространство имен. Это пространство имен представляет локальное окружение, содержащее имена параметров функции, а также имена переменных, которым были присвоены значения в теле функции. Когда возникает необходимость отыскать имя, интерпретатор в первую очередь просматривает локальное пространство имен. Если искомое имя не было найдено, поиск продолжается в глобальном пространстве имен. Глобальным пространством имен для функций всегда является пространство имен модуля, в котором эта функция была определена. Если интерпретатор не найдет искомое имя в глобальном пространстве имен, поиск будет продолжен во встроеном пространстве имен. Если и эта попытка окажется неудачной, будет возбуждено исключение `NameError`.

В языке Python поддерживается возможность определять вложенные функции. Переменные во вложенных функциях привязаны к лексической области видимости. То есть поиск имени переменной начинается в *локальной области видимости* и затем последовательно продолжается во всех *объемлющих областях видимости* внешних функций, в направлении от внутренних к внешним. Если и в этих пространствах имен искомое имя не будет найдено, поиск будет продолжен в *глобальном*, а затем во *встроеном пространстве имен*, как и прежде.

При обращении к локальной переменной до того, как ей будет присвоено значение, возбуждается исключение `UnboundLocalError`

```
i = 0

def foo():
    i = i + 1
    print(i) # UnboundLocalError
```

В функции `foo` переменная `i` определяется как локальная переменная, потому что внутри функции ей присваивается некоторое значение и отсутствует инструкция `global`). При этом ин-

струкция присваивания `i = i + 1` пытается прочитать значение переменной `i` еще до того, как ей будет присвоено значение.

Хотя в этом примере существует глобальная переменная `i`, она не используется для получения значения. Переменные в функциях могут быть *либо локальными, либо глобальными* и не могут произвольно изменять область видимости в середине функции. Например, нельзя считать, что переменная `i` в выражении `i = i + 1` в предыдущем фрагменте обращается к глобальной переменной `i`; при этом переменная `i` в вызове `print(i)` подразумевает локальную переменную `i`, созданную в предыдущей инструкции [1, стр. 136].

25. Функции как объекты и замыкания

Функции в языке Python – *объекты первого класса*. Это означает, что они могут передаваться другим функциям в виде аргументов, сохраняться в структурах данных и возвращаться функциями в виде результата [1, стр. 136].

Когда инструкции, составляющие функцию, упаковываются вместе с окружением, в котором они выполняются, получившийся объект называют *замыканием*. Такое поведение объясняется наличием у каждой функции атрибута `__globals__`, ссылающегося на глобальное пространство имен, в котором функция была определена. Это пространство имен всегда соответствует модулю, в котором функция была объявлена [1, стр. 137].

Когда функция используется как *вложенная*, в *замыкание* включается все ее окружение, необходимое для работы внутренней функции.

Замыкание – это функция, назовем ее `f`, с расширенной областью видимости, которая охватывает переменные, на которые есть ссылки в теле `f`, но которые не являются ни глобальными, ни локальными переменными `f`. Такие переменные должны происходить из *локальной* области видимости *внешней* функции, *объемлющей* `f`. Не имеет значения, является функция анонимной или нет; важно лишь, что она может обращаться к *неглобальным* переменным, определенным *вне ее тела* [4, стр. 307].

Пример

```
def make_averager():
    series = [] # свободная переменная

    def averager(new_value): # функция-замыкание
        series.append(new_value)
        total = sum(series)
        return total / len(series)

    return averager
```

Внутри `averager` переменная `series` является *свободной переменной*. Этот технический термин означает, что переменная не связана в локальной области видимости.

Замыкание `averager` (вложенная функция) расширяет область видимости функции, включая в нее привязку *свободной переменной* `series`.

Замыкание – функция, которая запоминает привязки свободных переменных, существовавшие на момент определения функции, так что их можно использовать впоследствии при вызове функции, когда область видимости, в которой она была определена, уже не существует.

Отметим, что единственная ситуация, когда функции может понадобиться доступ к внешним неглобальным переменным, – это когда она вложена в другую функцию и эти переменные являются частью локальной области видимости внешней функции [4, стр. 310].

26. Типизация

От типов модуля `typing` можно наследоваться

```
import typing as t
from collection import namedtuple

# Наследуемся от именованного кортежа
class Coordinates(t.NamedTuple):
    latit: float
    long: float

# Или так
# Но тип поля теперь не указывать
# Coordinates = namedtuple("Coordinates", ["latit", "long"])

# Доступ к полям через точечную нотацию
coord = Coordinates(latit=0.45, long=1.45)
coord.latit # 0.45
coord.long # 1.45
```

Функционально тоже что и дата-класс

```
from dataclasses import dataclass

@dataclass(frozen=False)
class Coordinates:
    latit: float
    long: float
```

Именованные кортежи от дата-классов отличаются тем, что именованные кортежи относятся к объектам неизменяемого типа данных. Дата-классы вообще говоря тоже можно сделать неизменяемыми после создания с помощью параметра `frozen=True`.

Именованные кортежи эффективнее с точки зрения хранения. С помощью библиотеки `pympler` <https://github.com/pympler/pympler>

```
import typing as t
from pympler import asizeof

class Coordinates(t.NamedTuple):
    latit: float
    long: float

print(asideof.asized(coord).size) # 104 Bytes
```

Иногда бывает полезно воспользоваться *типизированным словарем* `TypedDict`

```
import typing as t

# Доступ к полям будет как у словаря
class Coordinates(t.TypedDict):
    latit: float
    long: float
```

```
coord = Coordinates(latit=0.45, long=0.15)
coord["latit"] # 0.45
coord["long"] # 0.15
```

Еще бывает удобно воспользоваться *перечислением* Enum. Модуль enum это стандартная часть библиотеки Python, но если по какой-то причине интерпретатор не может его найти, то модуль можно установить так `pip install enum`

```
from enum import Enum

# Перечисление
class FileState(Enum):
    OPENED = "opened"
    CLOSE = "close"

FileState.OPENED.value # opened
```

Полезные замечания по перечислениям <https://realpython.com/python-enum/>. Значения элементов перечисления могут быть числом, строкой или любым другим объектом. Перечисления поддерживают операторы `in` и `not in`.

Для того чтобы не повторять имена элементов в качестве значений, можно воспользоваться следующим приемом

```
from enum import Enum, auto

class SolverStatus(Enum):
    def _generate_next_value_(name, start, count, last_values):
        return name.upper()

    OPTIMAL = auto()
    INFEASIBLE = auto()

SolverStatus.OPTIMAL # <SolverStatus.OPTIMAL: 'OPTIMAL'>
```

Перечисления поддерживают два типа операторов сравнения:

1. `is`, `is not`,
2. `==`, `!=`.

Сравнение элементов двух различных перечислений всегда возвращает `False`.

В принципе поведение перечисления можно симитировать с помощью именованного кортежа

```
import typing as t

class FileState(t.NamedTuple):
    OPENED = "opened"
    CLOSE = "close"

FileState.OPENED # "opened"
```

Для неименованных кортежей можно создавать псевдонимы

```
# Кортеж с произвольным количеством целых чисел
int_tuple = t.Tuple[int, ...]

def f(*args: int_tuple) -> int:
    return sum(args)

print(f(10, 20, 30)) # 60
```



```
two_ints = t.Tuple[int, int]
# etc.
```

Generic (обобщенные типы)

```
import typing as t
T = t.TypeVar("T") # обобщенный тип

def first(iterable: t.Iterable[T]) -> t.Optional[T]:
    for item in iterable:
        return item
```

27. Модули, пакеты и дистрибутивы

ВАЖНО: текущим каталогом (`os.path.curdir`) будет тот, из-под которого запускается сценарий, но сканирование «окружающего пространства» в поисках нужных пользовательских модулей и пр. начинается с той директории, в которой *расположен* сценарий (см. `sys.path`). Если требуется какие-то подмодули сделать доступными через пространство имен пакета с помощью `__init__.py`, то лучше воспользоваться относительным импортом (он более четко указывает о намерениях).

Можно указывать относительный путь, а можно абсолютный, но от той директории, в которой лежит пусковой сценарий (например, `./src/run.py`). То есть, если

```
./ # корень проекта
src/
  config/ # пакет
    __init__.py
    config.py # модуль
    ...
```

то

```
./src/config/__init__.py
```

```
# поиск начнется со сканирования src/ (потому что здесь лежит пакет config/)
from config.config import Config
# или относительно директории пакета
from .config import Config
```

ВАЖНО: в общем случае абсолютный путь в модулях `__init__.py` отсчитывается от директории родительского пакета, то есть от той директории, в которой лежит пусковой сценарий. Этот сценарий указывает от какой директории теперь отсчитываться (не включая эту директорию в пути).

Для сценариев командной оболочки можно явно указать директорию, которая должна просматриваться первой в поисках модулей и пакетов с помощью переменной окружения `PYTHONPATH`

```
./src/strategy_templates/make_strategy_file.py
```

```
from strategy_templates.templates import *
...
```

```
# Сканироваться будет директория ./src
PYTHONPATH=./src python ./src/strategy_templates/make_strategy_file.py ...
```

Пусковой сценарий удобно располагать в поддиректории проекта `./src`. Если запускать сценарий так `python ./src/run.py`, то сканирование начнется с директории `src` и технически все будет верно, но PyCharm будет подсвечивать пути красным. Чтобы убрать эту красноту, нужно просто объявить `./src` как «Sources Root», кликнув правой кнопкой мыши на директории в дереве проекта и выбрав соответствующую метку.

Когда инструкция `import` впервые загружает модуль, она выполняет следующие три операции [1, стр. 189]:

1. Создает новое пространство имен, которое будет служить контейнером для всех объектов, определенных в соответствующем файле.
2. Выполняет программный код в модуле внутри вновь созданного пространства имен.
3. Создает в вызывающей программе имя, ссылающееся на пространство имен модуля. Это имя совпадает с именем модуля.

Когда модуль импортируется впервые, он компилируется в байт-код и сохраняется на диске в файле с расширением `*.pyc`. При всех последующих обращениях к импортированию этого модуля интерпретатор будет загружать скомпилированный байт-код, если только с момента создания байт-кода в файл `.py` не вносились изменения (в этом случае файл `.pyc` будет создан заново).

Автоматическая компиляция программного кода в файл с расширением `.pyc` производится только при использовании инструкции `import`. При запуске программ из командной строки этот файл не создается.

Модули в языке Python – это *объекты первого класса* [1, стр. 190]. То есть они могут присваиваться переменным, помещаться в структуры данных, такие как списки, и передаваться между частями программы в виде элемента данных. Например

```
import pandas as pd
```

просто создает переменную `pd`, которая ссылается на объект модуля `pandas`.

Важно подчеркнуть, что инструкция `import` выполнит все инструкции в загруженном файле. Если в дополнение к объявлению переменных, функций и классов в модуле содержатся некоторые вычисления и вывод результатов, то результаты будут выведены на экран в момент загрузки модуля.

Инструкция `import` может появляться в любом месте программы. Однако программный код любого модуля *загружается и выполняется* только один раз, независимо от количества инструкций `import`.

Глобальным пространством имен для функции всегда будет *модуль*, в котором она была объявлена, а не пространство имен, в которое эта функция была импортирована и откуда была вызвана [1, стр. 192].

Пакеты позволяют сгруппировать коллекцию модулей под общим именем пакета. Пакет создается как каталог с тем же именем, в котором создается файл с именем `__init__.py`.

Например, пакет может иметь такую структуру

```
graphics/  
  __init__.py  
  primitives/  
    __init__.py  
    lines.py  
    fill.py  
    text.py  
    ...
```

```

graph2d/
    __init__.py
    plot2d.py
    ...
graph3d/
    plot3d.py
    ...
formats/
    __init__.py
    gif.py
    png.py
    tiff.py
    ...

```

Всякий раз когда какая-либо *часть пакета импортируется впервые*, выполняется программный код в файле `__init__.py` [1, стр. 198]. Этот файл может быть пустым, но может также содержать программный код, выполняющий инициализацию пакета. Выполнены будут все файлы `__init__.py`, которые встретятся инструкции `import` в процессе ее выполнения.

То есть инструкция

```
import graphics.primitives.fill
```

сначала выполнит файл `__init__.py` в каталоге `graphics`, а затем файл `__init__.py` в каталоге `primitives`.

При импортировании модулей из пакета следует быть особенно внимательными и не использовать инструкцию вида `import module`, так как в Python 3, инструкция `import` предполагает, что указан абсолютный путь, и будет пытаться загрузить модуль из стандартной библиотеки. Использование инструкции импортирования по относительному пути более четко говорит о ваших намерениях.

Возможность импортирования по относительному пути можно также использовать для загрузки модулей, находящихся в других каталогах того же пакета. Например, если в модуле `Graphics.Graph2d.plot2d` потребуется импортировать модуль `Graphics.Primitives.lines`, инструкция импорта будет иметь следующий вид

```
from ..primitives import lines # так можно!
```

В этом примере символы `..` перемещают точку начала поиска на уровень выше в дереве каталогов, а имя `primitives` перемещает ее вниз, в другой каталог пакета.

Импорт по относительному пути может выполняться только при использовании инструкции импортирования вида

```
from module import symbol
```

То есть такие конструкции, как

```
import ..primitives.lines # Ошибка!
import .lines # Ошибка!
```

будут рассматриваться как синтаксическая ошибка.

Кроме того, имя `symbol` должно быть допустимым идентификатором. Поэтому такая инструкция, как

```
from .. import primitives.lines # Ошибка!
```

также считается ошибочной.

Наконец, импортирование по относительному пути может выполняться только для модулей в пакете; не допускается использовать эту возможность для ссылки на модули, которые просто находятся в другом каталоге файловой системы.

Импортирование по одному только имени пакета не приводит к импортированию всех модулей, содержащихся в этом пакете [1, стр. 199], однако, так как инструкция `import graphics` выполнит файл `__init__.py` в каталоге `graphics`, в него можно добавить инструкции импортирования по относительному пути, которые автоматически загрузят все модули, как показано ниже

```
# graphics/__init__.py
from . import primitives, graph2d, graph3d

# graphics/primitives/__init__.py
from . import lines, fill, text
...
```

Для того чтобы сделать функции модулей подпакетов доступными из-под имени подпакетов (без обращения к модулям, в которых были объявлены эти функции), можно относительный импорт организовать следующим образом

```
# graphics/primitives/__init__.py
from .fill import make_fill
from .lines import make_lines
...
```

Теперь вызвать, например, функцию `make_fill` модуля `fill` подпакета `primitives` можно так

```
from graphics.primitives import make_fill
# вместо
from graphics.primitives.fill import make_fill
```

Грубо говоря, можно считать, что элементы расположенные справа от инструкции `import` в файле `__init__.py` будут как бы замещать имя модуля `__init__.py` в пути до этого файла, т.е.

```
# graphics/formats/__init__.py
from .png import print_png
from .jpg import print_jpg

# В сессии
>>> import graphics.formats.print_png
```

Переменная `__all__` управляет логикой работы инструкции `import *` и проявляется только если пользователь модуля/пакета использует прием «импортировать все». Если известен путь до нужного модуля, то переменная `__all__` не мешает. Если определить `__all__` как пустой список, ничего экспортироваться не будет [2, стр. 395].

Важное замечание: относительное импортирование работает только для модулей, которые размещены внутри подходящего пакета. В частности, оно не работает внутри простых модулей, размещенных на верхнем уровне скриптов. Оно также не работает, если *части пакета* исполняются напрямую, как *скрипты*, например [2, стр. 396]

```
$ python mypackage/A/spam.py # Относительное импортирование не работает!!!
```

С другой стороны, если вы выполните предыдущий скрипт, передав Python опцию `-m`, относительное импортирование будет работать правильно

```
$ python -m mypackage/A/spam # Относительное импортирование работает!
```

Замечание

Относительный импорт не работает, если части пакета исполняются напрямую, как скрипты. Но ситуацию можно исправить, если воспользоваться опцией `-m`

Наконец, когда интерпретатор импортирует пакет, он объявляет специальную переменную `__path__`, содержащую список каталогов, в которых выполняется поиск модулей пакета (`__path__` представляет собой аналог списка `sys.path` для пакета). Переменная `__path__` доступна для программного кода в файлах `__init__.py` и изначально содержит единственный элемент с именем каталога пакета.

При необходимости пакет может добавлять в список `__path__` дополнительные каталоги, чтобы изменить путь поиска модулей. Это может потребоваться в случае сложной организации дерева каталогов пакета в файловой системе, которая не совпадает с иерархией пакета.

27.1. Создание отдельных каталогов с кодом для импорта под общим пространством имен

Требуется определить пакет Python высшего уровня, который будет служить пространством имен для большой коллекции отдельно поддерживаемых подпакетов.

Нужно организовать код так же, как и в обычном пакете Python, но опустить файлы `__init__.py` в каталогах, где компоненты будут объединяться. Пример [\[2, стр. 399\]](#)

```
foo-package/  
  spam/  
    blah.py  
  
bar-package/  
  spam/  
    grok.py
```

В этих каталогах имя `spam` используется в качестве общего пространства имен. Обратите внимание, что файл `__init__.py` отсутствует в обоих каталогах.

Теперь, если добавить оба пакета `foo-package` и `bar-package` к пути поиска модулей Python и попытаете импортировать

```
import sys  
sys.path.extend(["foo-package", "bar-package"])  
import spam.blah  
import spam.grok
```

Для разных каталога пакетов слились вместе. Механизм, который здесь работает, известен под названием «пакет пространства имен». По сути, пакет пространства имен – это специальный пакет, разработанный для слияния различных каталогов с кодом под общим пространством имен.

Ключ к созданию пакета пространства имен – отсутствие файлов `__init__.py` в каталоге высшего уровня, который служит общим пространством имен. Вместо того чтобы выкинуть ошибку, интерпретатор начинает создавать список всех каталогов, которые содержит совпадающее имя пакета. Затем создается специальный модуль-пакет пространства имен, и в его переменной `__path__` сохраняется доступная только для чтения копия списка каталогов.

28. Некоторые приемы

28.1. Вычисления со словарями

Рассмотрим словарь, который отображает тикеры на цены

```
d = {  
    "ACME": 45.23,  
    "AAPL": 612.78,  
    "IBM": 205.55,  
    "HPQ": 37.20,  
    "FB": 10.75,  
}
```

Чтобы найти наименьшую/наибольшую цены с тикером можно обратиться к ключам и значениям, а затем воспользоваться функцией `zip()`

```
min(zip(d.values(), d.keys())) # (10.75, "FB")  
max(zip(d.values(), d.keys())) # (612.78, "AAPL")
```

Важно иметь в виду, что функция `zip()` создает итератор, по которому можно пройти только один раз.

Использование функции `zip()` решает задачу путем «обращения» словаря в последовательность пар (value, key).

Однако, вариант с функцией `zip()` требует большего времени, чем вариант на цикле

```
%%timeit -n 1_000_000  
# 639 ns +/- 3.04 ns per loop (mean +/- std. dev. of 7 runs, 1,000,000 loops each)  
min(zip(d.values(), d.values()))  
  
%%timeit -n 1_000_000  
# 576 ns +/- 1.4 ns per loop (mean +/- std. dev. of 7 runs, 1,000,000 loops each)  
def find_min_pair(d: t.Dict[str, float]) -> t.Tuple[float, str]:  
    min_value = float("inf")  
    for key, value in d.items():  
        if value < min_value:  
            min_value = d[key]  
            min_key = key  
    return (min_value, min_key)
```

Пусть есть два словаря. Требуется выяснить, что у них общего

```
d1 = {"x": 1, "y": 2, "z": 3}  
d2 = {"w": 10, "x": 11, "y": 2}  
  
# Найти общие ключи  
d1.keys() & d2.keys()  
  
# Находим ключи, которые есть в d1, но которых нет в d2  
d1.keys() - d2.keys()  
  
# Находим общие пары (key, value)  
d1.items() & d2.items() # {"y", 2}
```

Словарь – это отображение множества ключей на множество значений. Метод словаря `keys()` возвращает объект ключей словаря `dict_keys`. Малоизвестная особенность этих объектов заключается в том, что они поддерживают набор операций над множествами: объединение, пересечение и разность. Так что, если требуется выполнить этот набор операций над ключами словаря, то

можно использовать объект ключей словаря напрямую, без предварительного конвертирования во множество [2, стр. 35], т.е.

```
d1.keys() & d2.keys() # {"x", "y"}
# вместо
set(d1.keys()) & set(d2.keys()) # {"x", "y"}
# или
set(d1.keys()).intersection(set(d2.keys())) # {"x", "y"}
```

Найти пересечение индексов двух серий можно было бы так

```
ser1 = pd.Series(d1, name="ser1")
ser2 = pd.Series(d2, name="ser2")

pd.merge(
    ser1,
    ser2,
    left_index=True,
    right_index=True,
    how="inner"
).index.to_list() # ["x", "y"]
```

Ремарка: в *контейнерных последовательностях* (list, tuple etc.) хранятся *ссылки* на объекты любого типа, тогда как в *плоских последовательностях* (str, bytes etc.) – сами значения прямо в памяти, занятой последовательностью, а не как отдельные объекты Python [4, стр. 49].

28.2. Удаление дубликатов из последовательности

Вы хотите исключить дублирующиеся значения из последовательности, но при этом сохранить порядок следования оставшихся элементов.

Если значения в последовательности являются хешируемыми, задача может быть легко решена с использованием множества и генератора

```
%%timeit -n 100_000
# 984 ns +/- 17.6 ns per loop (mean +/- std. dev. of 7 runs, 100,000 loops each)
def dedupe(items: t.Iterable[int]) -> t.Iterable[int]:
    seen: t.Set[int] = set()
    for item in items:
        if item not in seen:
            yield item # отдать элемент
            seen.add(item) # обновить множество

lst = [1, 5, 2, 1, 9, 1, 5, 10]
list(dedupe(lst)) # [1, 5, 2, 9, 10]
```

Или так

```
%%timeit -n 100_000
# 663 ns +/- 26.2 ns per loop (mean +/- std. dev. of 7 runs, 100,000 loops each)
def dedupe_list(items: t.Iterable[int]) -> t.Iterable[int]:
    seen: t.Iterable[int] = []
    for item in items:
        if item not in seen:
            seen.append(item)
    return seen
```

28.3. Сортировка списка словарей по общему ключу

У вас есть список словарей, и вы хотите отсортировать записи согласно одному или более полям. Сортировка структур этого типа легко выполняется с помощью функции `operator.itemgetter`. Именованный аргумент `key` должен быть *вызываемым объектом* (т.е. объектом, в котором реализован метод `__call__`). Функция `itemgetter()` создает такой вызываемый объект

```
from operator import itemgetter

records: t.Iterable[dict] = [
    {"fname": "Brian", "lname": "Jones", "uid": 1003},
    {"fname": "David", "lname": "Beazley", "uid": 1002},
    {"fname": "John", "lname": "Cleese", "uid": 1004},
]

# аргумент key ожидает получить вызываемый объект
sorted(records, key=itemgetter("fname"))
sorted(records, key=itemgetter("uid"))
# то же, что и
sorted(records, key=lambda record: record["fname"])
sorted(records, key=lambda record: record["uid"])
```

Функция `itemgetter()` может принимать несколько полей

```
sorted(records, key=itemgetter("lname", "fname"))
```

Эту технику можно применять и к функциям `min`, `max`

```
# найти строку с наименьшим значением идентификационного номера
min(records, key=itemgetter("uid"))
```

28.4. Отображение имен на последовательность элементов

У вас есть код, который осуществляет доступ к элементам в списке или кортеже по позиции. Однако такой подход часто программу нечитабельной.

`collections.namedtuple()` – фабричный метод, который возвращает подкласс стандартного типа Python – `tuple`. Метод возвращает класс, который может порождать экземпляры

```
Person = namedtuple("Person", ["name", "age", "job"])
leor = Person(name="Leor", age=36, job="DS")
```

Хотя экземпляр `namedtuple` выглядит так же, как и обычный экземпляр класса, он взаимозаменяем с кортежем и поддерживает все обычные операции кортежей, такие как индексирование и распаковка

```
name, age, job = leor
```

Возможное использование именованного кортежа – замена словаря, который требует больше места для хранения. Так что, если создаете крупные структуры данных с использованием словарей, применение именованных кортежей будет более эффективным. Однако, именованные кортежи неизменяемы в отличие от словарей.

Если вам нужно изменить любой из атрибутов, это может быть сделано с помощью метода `_replace()`, которым обладают экземпляры именованных кортежей.

Тонкость использования метода `_replace()` заключается в том, что он может стать удобным способом наполнить значениями именованный кортеж, у которого есть опциональные или

отсутствующие поля. Чтобы сделать это, создайте прототип кортежа, содержащий значения по умолчанию, а затем применяйте `_replace()` для создания новых экземпляров с замененными значениями

```
from collection import namedtuple

Stock = namedtuple("Stock", ["name", "shares", "price", "date", "time"])
stock_prototype = Stock("", 0, 0.0, None, None)

def dict_to_stock(s):
    return stock_prototype._replace(**s)
```

29. Строки и текст

29.1. Разрезание строк различными разделителями

Нужно разделить строку на поля, но разделители (и пробелы вокруг них) внутри строки разные

```
import re
line = "asdf fjdk; afed, fjek,asdf,      foo"
re.split(r"[;,\s]", line)
```

30. Профилирование и замеры времени выполнения

При проведении измерений производительности нужно помнить, что любые результаты будут приблизительными. Функция `time.perf_counter()` предоставляет наиболее точный таймер из доступных. Однако она все-таки измеряет *внешнее время*, и **на результаты влияют различные факторы, такие как нагрузка компьютера**.

Если вы хотите получить время обработки, а не внешнее время, используйте `time.process_time()` [2, стр. 574]

```
from functools import wraps

def timethis(func):
    @wraps(func)
    def wrapper(*args, **kwargs):
        start = time.process_time() # <- NB
        r = func(*args, **kwargs)
        stop = time.process_time() # <- NB
        print(f"{func.__module__}.{func.__name__} : {end - start}")
        return r
    return wrapper

@timethis
def countdown(n):
    while n > 0:
        n -= 1

countdown(100000)
```

Чтобы подсчитать время выполнения блока инструкций, можно определить менеджер контекста

```

from contextlib import contextmanager

@contextmanager
def timeblock(label):
    start = time.process_time()
    try:
        yield
    finally:
        end = time.process_time()
        print(f"{label} : {end - start}")

with timeblock("counting"):
    n = 100000
    while n > 0:
        n -= 1
    # counting: 1.55555

```

Запустить профилировщик для веб-приложения и перенаправить вывод профилировщика в файл

```

# В основном терминале
$ python -m cProfile flask_app.py > profile.log
* Serving Flask app 'solverapi' (lazy loading)
* Environment: production
WARNING: This is a development server. Do not use it in a production deployment.
Use a production WSGI server instead.
* Debug mode: on
* Running on http://127.0.0.1:5000 (Press CTRL+C to quit)
* Restarting with stat
* Debugger is active!
* Debugger PIN: 158-204-808

# В параллельном терминале
$ curl -H "Content-Type: application/json" -X POST --data "@file_name.json" "localhost:5000/api/solver/balance"

# После завершения расчета можно прервать сессию в основном терминале
$ vim profile.log

```

Граф цепочки выполнения программы можно построить следующим образом

```

$ pip install gprof2dot
$ python -m cProfile -o profile.pstat app.py
$ gprof2dot -f pstats profile.pstat | dot -Tpng -o output.png

```

Потребление памяти приложением можно оценить с помощью библиотеки `memory_profiler` <https://pypi.org/project/memory-profiler/>. После установки библиотеки будет доступна утилита командной строки `mprof`.

Запустить приложение в режиме замера потребления памяти для основного (родительского) процесса и его дочерних процессов (если они существуют) можно следующим образом

```

$ mprof run --include-children --multiprocess script.py

```

После остановки приложения в рабочей директории будет создан `dat`-файл с результатами измерений потребления памяти. Построить график потребления можно так

```

# -s: угол наклона, по которому можно судить об утечке памяти
# -t: заголовок графика
$ mprof plot -s -t "496.lp"

```

Перечень поддерживаемых флагов, связанных с конкретной подкомандой `mprof`, можно посмотреть так

```
$ mprof <subcommand> --help
...
```

Для измерения потребления памяти какой-то конкретной функции можно воспользоваться декоратором `@memory_profiler.profile`

```
from memory_profiler import profile

@profile
def my_func():
    a = [1] * (10 ** 6)
    b = [2] * (2 * 10 ** 7)
    del b
    return a
```

Затем остается только запустить интерпретатор с флагом `-m memory_profiler` и проанализировать ответ `memory_profiler`.

31. Итераторы и генераторы

Ремарка: Инициализацию кортежей, массивов и других последовательностей можно начинать с использования спискового включения, но *генераторное выражение* экономит память, так как *отдает элементы по одному*, применяя протокол итератора, вместо того чтобы сразу строить целиком список для передачи другому конструктору [4, стр. 55].

В большинстве случаев для прохода по итерируемому объекту используется цикл `for`. Однако иногда задачи требуют более точного контроля лежащего в основе механизма итераций.

Следующий код иллюстрирует базовые механизмы того, что происходит во время итерирования

```
items = [1, 2, 3] # Итерируемый объект
# Получаем объект итератора
# Функция iter(items) вызывает метод итерируемого объекта items.__iter__()
it = iter(items) # Итератор
# Запускаем итератор
next(it) # Вызывается it.__next__() -> 1
next(it) # -> 2
next(it) # -> 3
next(it) # Возбуждается исключение StopIteration
```

Список `items` как *итерируемый объект* имеет метод `__iter__()`, который должен возвращать *объект-итератора* (`it`). У объекта-итератора должен быть метод `__next__()` для перебора элементов. Вот функция `next(it)` и вызывает метод `__next__()` объекта-итератора для получения следующего элемента. Когда список исчерпывается, возбуждается исключение `StopIteration`.

Протокол итераций Python требует, чтобы метод `__iter__()` возвращал специальный объект-итератор, в котором реализован метод `__next__()`, который выполняет итерацию [2, стр. 128]. Функция `iter()` просто возвращает внутренний итератор, вызывая `s.__iter__()`.

Протокол итератора Python требует `__iter__()`, чтобы вернуть специальный *объект итератора*, в котором реализован метод `__next__()`, а исключение `StopIteration` используется для подачи сигнала о завершении [2, стр. 131].

Когда поток управления покидает тело генераторной функции, возбуждается исключение `StopIteration`.

Метод `__iter__()` *итерируемого объекта* может быть реализован как обычная *генераторная функция* [2, стр. 133]

```
class linehistory:
    ...
    def __iter__(self):
        for lineno, line in enumerate(self.lines, 1):
            self.history.append((lineno, line))
            yield line
```

Для того чтобы пропустить первые несколько элементов по какому-то условию, можно воспользоваться функцией `itertools.dropwhile`

```
from itertools import dropwhile

def read_wo_header(file_name: str):
    with open(file_name, mode="r") as f:
        for line in dropwhile(lambda line: line.startswith("#"), f):
            print(line.rstrip())
```

Возвращаемый итератор отбрасывает первые элементы в последовательности до тех пор, пока предоставленная функция возвращает `True`.

Если нужно просто пропустить первые несколько строк файла (не по условию), то будет полезна функция `itertools.islice`

```
with open(file_name, mode="r", encoding="utf-8") as f:
    for line in islice(f, 7, None): # пропустить первые 7 строк файла
        if line.startswith("# rows".lower()):
            break
    ...
```

32. Захват переменных в анонимных функциях

Рассмотрим поведение следующей программы:

```
>>> x = 10
>>> a = lambda y: x + y
>>> x = 20
>>> b = lambda y: x + y
>>> a(10) # 30
>>> b(10) # 30
```

Проблема в том, что значение `x`, используемое `lambda`-выражением, является *свободной переменной*, которая связывается во время *выполнения*, а не во время *определения* [2, стр. 233]. Так что значение `x` будет таким, каким ему случится быть во время выполнения.

Замечание

Свободные переменные связываются во время выполнения, а не во время определения

Другими словами у замыканий позднее связывание. Замыкания – это функции с расширенной областью видимости, которая включает все неглобальные переменные. То есть замыкания умеют запоминать привязки свободных переменных.

Например,

```

funcs = [
    lambda x: x + n
    for n in range(3)
]
for f in funcs:
    print(f(0))
# 2
# 2
# 2

```

33. Передача дополнительного состояния с функциями обратного вызова

```

import typing as t

def apply_async(
    func: t.Callable,
    args: t.Tuple[t.Union[str, int]],
    *,
    callback: t.Callable]
) -> t.NoReturn:
    result: t.Union[str, int] = func(*args)
    callback(result)

def add(x: int, y: int) -> int:
    return x + y

```

Для хранения состояния можно использовать *замыкание* [2, стр. 238]

```

def make_handler():
    count = 0
    def handler(result: t.Union[str, int]) -> t.NoReturn:
        nonlocal count
        count += 1
        print(f"[{count}] Got: {result}")
    return handler

handler = make_handler()
apply_async(add, (2, 3), callback=handler) # [1] Got: 5
apply_async(add, ("hello", "world"), callback=handler) # [2] Got: hello world

```

34. Использование лениво вычисляемых свойств

Вы хотите определить доступный только для чтения атрибут как свойство, которое вычисляется при доступе к нему. Однако после того, как доступ произойдет, значение должно кешироваться и не пересчитываться при следующих запросах.

Дескриптор – класс, который реализует три ключевые операции доступа к атрибутам (получения, присваивания и удаления) в форме специальных методов `__get__()`, `__set__()` и `__delete__()`.

Эффективный путь определения ленивых атрибутов – это использование *класса-дескриптора* [2, стр. 271]

```

# дескрипторный класс
class lazyproperty:

```

```

def __init__(self, f: t.Callable):
    self.f = f

def __get__(self, instance, cls):
    if instance is None:
        # Если дескриптор вызывать через объект управляющего класса,
        # например как Circle.area, то instance=None и будет возвращена
        # ссылка на объект экземпляра дескриптора
        return self
    else:
        value = self.f(instance)
        setattr(instance, self.f.__name__, value)
        return value

```

Чтобы использовать этот код, вы можете применить его в классе

```

class Circle:
    def __init__(self, radius: float):
        self.radius = radius

    @lazyproperty
    def area(self):
        print("Computing area")
        return math.pi * self.radius ** 2

    @lazyproperty
    def perimeter(self):
        print("Computing perimeter")
        return 2 * math.pi * self.radius

```

Вот пример использования

```

>>> c = Circle(radius=4.0)
>>> c.area
# Computing area
# 50.26...
>>> c.area # 50.26...

```

Во многих случаях цель применения лениво вычисляемых атрибутов заключается в увеличении производительности. Например, вы можете избежать вычисления значений, если только они действительно где-то не нужны.

Когда дескриптор помещается в определение класса, его методы `__get__()`, `__set__()` и `__delete__()` задействуются при доступе к атрибуту. Но если дескриптор определяет только метод `__get__()`, то у него намного более слабое связывание, нежели обычно. В частности, метод `__get__()` срабатывает, *только если атрибут*, к которому осуществляется доступ, *отсутствует в словаре экземпляра* управляющего класса (в данном случае класса `Circle`) [2, стр. 272].

Класс `lazyproperty` использует это так: он заставляет метод `__get__()` сохранять вычисленное значение в экземпляре, используя то же имя, что и само свойство. С помощью этого значение сохраняется в словаре экземпляра и отключает будущие вычисления свойства.

Возможный недостаток этого рецепта в том, что вычисленное значение становится изменяемым после создания. То есть значение, например, свойства `area` можно затереть.

Если это проблема, вы можете использовать немного менее эффективное решение [2, стр. 273]

```

def lazyproperty(func):
    name = "_lazy_" + func.__name__
    @property

```

```

def lazy(self):
    if hasattr(self, name):
        return getattr(self, name)
    else:
        value = func(self)
        setattr(self, name, value)
        return value
return lazy

```

В этом случае операции присваивания недоступны

```

>>> c = Circle(4.0)
>>> c.area
Computing area
50.26...
>>> c.area
50.26...
>>> c.area = 25  # Поднимется исключение AttributeError

```

В этом случае все операции получения значения проводятся через функцию-геттер свойства. Это менее эффективно, чем простой поиск значения в словаре экземпляра.

Еще можно просто задекорировать свойство декоратором `lru_cache`

```

from functools import lru_cache

class Circle:
    def __init__(self, radius: float):
        self.radius = radius

    @property
    @lru_cache
    def area(self):
        print("Computing area")
        return math.pi * self.radius ** 2

    @property
    @lru_cache
    def perimeter(self):
        print("Computing perimeter")
        return 2 * math.pi * self.radius

>>> circle = Circle(4.0)
>>> circle.area
# Computing area
# 50.26...
>>> circle.area  # 50.26...

```

35. Определение более одного конструктора в классе

Вы пишете класс и хотите, чтобы пользователи могли создавать экземпляры не только лишь единственным способом, предоставленным `__init__()`.

Чтобы определить класс с более чем одним конструктором, вы должны использовать метод класса

```

class Circle:
    def __init__(self, radius: float, color: str = "black"):

```

```

    """
    Первичный конструктор
    """
    self.radius = radius
    self.color = color

    @classmethod
    def make_default_circle(cls):
        """
        Альтернативный конструктор. Конструктор тривиального класса
        """
        return cls(radius=1.0, color="red")

    @property
    @lru_cache
    def area(self):
        print("Computing area")
        return math.pi * self.radius ** 2

    @property
    @lru_cache
    def perimeter(self):
        print("Computing perimeter")
        return 2 * math.pi * self.radius

    def __repr__(self):
        return f"{type(self).__name__}(radius={self.radius}, color={self.color})"

    def get_params(self) -> dict:
        return {"radius": self.radius, "color": self.color}

```

Одно из главных применений *методов класса* – это определение *альтернативных конструкторов* [2, стр. 294].

При определении класса с множественными конструкторами необходимо делать функцию `__init__()` максимально простой – она должна просто присваивать атрибутам значения. А вот уже альтернативные конструкторы будут вызываться при необходимости выполнения продвинутых операций.

Если требуется вызывать методы по имени, то можно воспользоваться `operator.methodcaller()`

```

import operator

class Point:
    def __init__(self, x, y):
        self.x = x
        self.y = y

    def __repr__(self):
        return f"Point({self.x}, {self.y})"

    def distance(self, x, y):
        return math.hypot(self.x - x, self.y - y)

p = Point(2, 3)
operator.methodcaller("distance", 0, 0)(p)

```

Функция `methodcaller()` может быть полезна, например, в следующем случае

```

class Person:
    def __init__(self, name: str, job: str):

```



```

        self.name = name
        self.job = job

    def action_1(self):
        return "Action-1"

    def action_2(self):
        return "Action-2"

    def action_N(self):
        return "Action-N"

```

Вызвать действие теперь можно так

```

def make(*, obj, action: str):
    if hasattr(obj, action):
        return methodcaller(action)(obj)
    else:
        raise ValueError(f"Object '{type(obj).__name__}' has't action '{action}' ...")

leor = Person(name="Leor", job="ML")
make(obj=leor, action="action_1") # Action-1
make(obj=leor, action="action_2") # Action-2
make(obj=leor, actin="action_10") # ValueError

```

Без methodcaller() пришлось бы писать что-то вроде

```

def bad_make(*, obj, action: str):
    if action == "action_1":
        obj.action_1()
    elif action == "action_2":
        obj.action_2()
    ...

```

36. Класс загрузчик данных

Иногда бывает удобно использовать свой загрузчик. Например, когда нужно работать с большими prz-файлами временных рядов

```

import pathlib2
import typing as t

class DataLoader:
    def __init__(self, data_dir):
        self.files = list(pathlib2.Path(data_dir).glob("*.npz"))

    def __getitem__(self, key):
        return self.read(self.files[key])

    def __iter__(self):
        yield from map(lambda file: self.read(file), self.files)

    def __len__():
        return len(self.files)

    def read(self, filepath):
        loader = np.load(filepath, allow_pickle=True)

        X = loader["X"]

```

```

        index = loader["index"]
        columns = loader["columns"]
        y = loader["y"]

data = DataLoader("./data")

```

37. Параметрические декораторы

Требуется создать функцию-декоратор, которая принимала бы аргументы

```

from functools import wraps
import logging

# level, name и message -- это параметры декоратора
def logged(level, name=None, message=None):
    # это обычный декоратор, аргумент func которого ссылается на декорируемую функцию
    def decorate(func: t.Callable):
        logname = name if name else func.__module__
        log = logging.getLogger(logname)
        logmsg = message if message else func.__name__

        @wraps(func)
        # args и kwargs -- это аргументы задекорированной функции
        def wrapper(*args, **kwargs):
            log.log(level, logmsg)
            return func(*args, **kwargs)
        return wrapper
    return decorate

# Пример использования
@logged(logging.DEBUG) # -> @decorate: add = deocrate(add) -> wrapper || add -> wrapper
def add(x, y):
    return x + y

@logged(logging.CRITICAL, "example")
def spam():
    print("Spam!")

```

Можно считать, что после объявления функции `add` вместо выражения `@logged(logging.DEBUG)` стоит `@decorate`, но при этом еще доступна переменная `level` со значением `@logging.DEBUG`, а также переменные `name` и `message` со значением `None`. Аргумент функции `decorate` получает ссылку на декорируемую функцию `add`. Затем локальные переменные `logname`, `log` и `logmsg` получают значения, после чего возвращается ссылка на вложенную функцию `wrapper`. Таким образом, при вызове функции `add` будет вызываться функция `wrapper`.

38. Пользовательские исключения

Можно не просто наследовать пользовательский класс исключения от класса `Exception`, задавать сообщения по умолчанию и пр.

```

class PathToProblemError(Exception):
    """
    Incorrect path to problem
    """

```

```
def __init__(
    self,
    message="Error! Incorrect path to problem: {}",
    *,
    incorrect_path_to_problem="",
):
    super().__init__(message.format(incorrect_path_to_problem))
```

39. Определение декоратора, принимающего необязательный аргумент

Вы хотели бы написать один декоратор, который можно было бы использовать и без аргументов – @decorator, и с необязательными аргументами @decorator(x, y, z) [2, стр. 339].

```
from functools import wraps, partial
import logging

def logged(func=None, *, level=logging.DEBUG, name=None, message=None):
    if func is None:
        return partial(logged, level=level, name=name, message=message)

    logname = name if name else func.__module__
    log = logging.getLogger(logname)
    logmsg = message if message else func.__name__

    @wraps(func)
    def wrapper(*args, **kwargs):
        log.log(level, logmsg)
        return func(*args, **kwargs)
    return wrapper

# Пример использования
@logged
def add(x, y):
    return x + y

@logged(level=logging.CRITICAL, name="example")
def spam():
    print("Spam")
```

Этот рецепт просто заставляет декоратор одинаково работать и с дополнительными скобками, и без.

Чтобы понять принцип работы кода, вы должны четко понимать то, как декораторы применяются к функциям, а также условия их вызова. Для простого декоратора, такого как этот

```
@logged # logged(func=add, ...)
def add(x, y):
    return x + y
```

последовательность вызова будет такой

```
def add(x, y):
    return x + y

add = logged(add)
```

В этом случае обертываемая функция просто передается в `logged` первым аргументом. Поэтому в решении первый аргумент `logged()` – это обертываемая функция. Все остальные аргументы должны иметь значения по умолчанию.

Для декоратора, принимающего аргументы, такого как этот

```
@logged(level=logging.CRITICAL, name="example") # logged(func=None, ...)
def spam():
    print("Spam")
```

последовательность вызова будет такой

```
def spam():
    print("Spam")

spam = logged(level=logging.CRITICAL, name="example")(spam)
```

При первичном вызове `logged()` обертываемая функция не передается. Так что в декораторе она должна быть необязательной. Это, в свою очередь, заставляет другие аргументы быть именованными. Более того, когда аргументы переданы, декоратор должен вернуть функцию, которая принимает функцию и оборачивает ее. Чтобы сделать это, в решении используется хитрый трюк с `functools.partial`. Если точнее, он просто возвращает частично примененную версию себя, где все аргументы зафиксированы, за исключением обертываемой функции.

Таким образом, при повторном вызове функции `logged` через `partial` вызов будет выглядеть следующим образом

```
spam = logged(func=spam, level=logging.CRITICAL, name="example", message=None)
```

Одна из особенностей декораторов в том, что они применяются только один раз, во время *определения* функции [2, стр. 342]

40. Параллельное программирование

Библиотека `concurrent.futures` предоставляет класс `ProcessPoolExecutor`, который может быть использован для выполнения тяжелых вычислительных задач в *отдельно запущенных экземплярах интерпретатора Python* [2, стр. 498].

«Под капотом» `ProcessPoolExecutor` создает N независимо работающих интерпретаторов Python, где N – это количество доступных обнаруженных в системе CPU. Пул работает до тех пор, пока не будет выполнена последняя инструкция в блоке `with`, после чего пул процессов завершается. Однако программа будет ждать, пока вся отправленная работа не будет сделана.

Чтобы получить результат от экземпляра `Future`, нужно вызвать метод `result()`. Это вызовет *блокировку* на время, пока результат не посчитается и не будет возвращен пулом.

Несколько вопросов, связанных с пулами процессов:

- Этот прием распараллеливания работает только для задач, которые легко раскладываются на независимые части,
- Работа должна отправляться в форме простых функций,
- Аргументы функций и возвращаемые значения должны быть совместимы с `pickle`. Работа выполняется в отдельном интерпретаторе при использовании межпроцессной коммуникации. Так что данные, которыми обмениваются интерпретаторы, должны *сериализоваться*,

- Пулы процессов в Unix создаются с помощью системного вызова `fork()`. Он создает клон интерпретатора Python, включая все состояние программы на момент копирования. В Windows запускается независимая копия интерпретатора, которая не клонирует состояние,
- Нужно с великой осторожностью объединять пулы процессов с программами, которые используют потоки.

40.1. Пример использования пула потоков

Требуется для каждой переменной в MILP-задаче описать контекст переменной через типы переменных, которые встречаются в тех ограничениях, в которые входит рассматриваемая переменная. Для примера пусть переменная входит в 3 ограничения. В первом ограничении кроме рассматриваемой переменной есть еще две: одна, скажем, вещественная, а другая целочисленная. Во втором ограничении кроме рассматриваемой переменной есть еще 3 вещественные. А в третьем ограничении кроме рассматриваемой есть еще одна бинарная. Тогда для рассматриваемой переменной мы должны получить такой контекст: `{"CONTINUOUS": 4, "BINARY": 1, "INTEGER": 1}`. Затем полученные контексты собираются в список словарей. На этом списке требуется построить кадр данных. В данном случае это можно сделать так

```
pd.DataFrame.from_dict(ChainMap(*results), orient="index") # ОЧЕНЬ МЕДЛЕННО!
```

Построение кадра данных на 26 000 контекстов занимает около 2-х минут. Оданко, если список `results` разбить на пакеты, для каждого пакета построить кадр данных, собрать в список, а затем склеить с помощью `pd.concat()`, то время построения снижается до 6 секунд

```
dfs = []
for batch_idx in range(math.ceil(len(results) / batch_size)):
    _part = results[batch_idx * batch_size : (batch_idx + 1) * batch_size]
    dfs.append(pd.DataFrame.from_dict(ChainMap(*_part), orient="index"))

_features = pd.concat(dfs, axis=0)
```

Каждое обращение к `executor.submit` планирует выполнение одного вызываемого объекта и возвращает экземпляр `Future`. Первый аргумент – сам вызываемый объект, остальные – передаваемые ему аргументы.

Функция `as_completed()` возвращает итератор, который отдает будущие объекты по мере их завершения: `as_completed()` возвращает *только уже завершенные* будущие объекты.

```
def _get_var_context_types(
    self,
    consss: t.Iterable[t.Tuple[str, dict]],
    var_name: str,
) -> dict:
    """
    Gets var types in context current var. For example,
    "y_var_1" -> {"CONTINUOUS": 8, "INTEGER": 4, "BINARY": 0}
    """
    cons_name: str
    cons: dict
    _var_types: t.List[str] = []
    var_context_types: t.Dict[str, int]

    for cons_name, cons in consss:
        if var_name in cons:
            _var_types.extend(
```

```

        [
            self._var_name_to_var_type.get(_var_name)
            for _var_name in cons.keys()
            if var_name != _var_name
        ]
    )

if not _var_types:
    var_context_types = {VAR_TYPE_CONTINUOUS: 0, VAR_TYPE_BINARY: 0, VAR_TYPE_INTEGER: 0}
else:
    var_context_types = Counter(_var_types)

    not_represented_var_types: t.Set[str] = {
        VAR_TYPE_CONTINUOUS,
        VAR_TYPE_BINARY,
        VAR_TYPE_INTEGER,
    }.difference(set(_var_types))

    if not_represented_var_types:
        for var_type in not_represented_var_types:
            var_context_types.update({var_type: 0})

    return {var_name: var_context_types}

def build_var_context_types(
    self,
    var_names: t.List[str],
    conss: t.Iterable[t.Tuple[str, dict]],
    batch_size: int = 2_000,
    max_n_threads: int = 100,
) -> pd.DataFrame:
    """
    Builds features for var context types in parallel mode
    """
    with ThreadPoolExecutor(max_workers=max_n_threads) as executor:
        to_do: t.List[Future] = []

        for var_name in tqdm(var_names):
            future: Future = executor.submit(self._get_var_context_types, conss, var_name)
            to_do.append(future)

        results: t.List[dict] = []
        for future in as_completed(to_do):
            result = future.result()
            results.append(result)

        dfs: t.List[pd.DataFrame] = []
        for batch_idx in tqdm(range(math.ceil(len(results) / batch_size))):
            _part = results[batch_idx * batch_size : (batch_idx + 1) * batch_size]
            dfs.append(pd.DataFrame.from_dict(ChainMap(*_part), orient="index"))

        _features = pd.concat(dfs, axis=0)
        _features.columns = [f"{col_name.lower()}_type_context" for col_name in _features.columns]

    return _features

```

40.2. Процессы, потоки и GIL в Python

Выдержка из книги Л. Рамальо [4, стр. 650]:

- Каждый экземпляр интерпретатора Python является процессом. Дополнительные процессы Python можно запускать с помощью библиотек `multiprocessing` или `concurrent.futures`.
- Интерпретатор Python использует единственный поток, в котором выполняется и пользовательская программа, и сборщик мусора. Для запуска дополнительных потоков предназначены библиотеки `threading` и `concurrent.futures`.
- Только один поток может выполнять Python-код, и от числа процессорных ядер это не зависит.
- Любая стандартная библиотечная функция Python, делающая системный вызов, освобождает GIL. Сюда относятся все функции, выполняющие дисковый ввод-вывод, сетевой ввод-вывод, а также `time.sleep()`. Многие счетные функции в библиотеках `numpy/scipy`, а также функции сжатия и распаковки из модулей `zlib` и `bz2` также освобождают GIL.
- Влияние GIL на сетевое программирование с помощью потоков Python сравнительно невелико, потому что функции ввода-вывода освобождают GIL, а чтение или запись в сеть всегда подразумевает высокую задержку по сравнению с чтением-записью в память. Следовательно, каждый отдельный поток все равно тратит много времени на ожидание, так что их выполнение можно чередовать без заметного снижения общей пропускной способности.
- Состязание за GIL замедляет работу счетных потоков в Python. В таких случаях последовательный однопоточный код проще и быстрее.
- Для выполнения счетного Python-кода на нескольких ядрах нужно использовать несколько процессов Python.

Деталь реализации CPython. В CPython, из-за глобальной блокировки интерпретатора, в каждый момент времени Python-код может выполняться только одним потоком (хотя некоторые высокопроизводительные библиотеки умеют обходить это ограничение). Если вы хотите, чтобы приложение более эффективно использовало вычислительные ресурсы многоядерных машин, то пользуйтесь модулем `multiprocessing` или классом `concurrent.futures.ProcessPoolExecutor`. Однако многопоточное выполнение все же является вполне пригодной моделью, если требуется одновременно выполнять несколько задач с большим объемом ввода-вывода [4, стр. 652].

По умолчанию *сопрограммы* вместе с *управляющим циклом событий*, который предоставляется каркасом асинхронного программирования, работают в *одном потоке*, поэтому GIL не оказывает на них никакого влияния. Можно использовать несколько потоков в асинхронной программе, но рекомендуется, чтобы и цикл событий, и все сопрограммы исполнялись в одном потоке, а дополнительные потоки выделялись для специальных задач.

40.3. Глобальная блокировка интерпретатора

Интерпретатор защищен так называемой глобальной блокировкой интерпретатора (GIL), которая позволяет *только одному потоку* Python выполняться в любой конкретный момент времени [2, стр. 503].

Наиболее заметный эффект GIL в том, что многопоточные программы Python не могут полностью воспользоваться преимуществами многоядерных процессоров (тяжелые вычислительные задачи, использующие больше одного потока, работают только на одном ядре процессора) [2, стр. 503].

GIL влияет только на программы, сильно нагружающие CPU (то есть те, в которых вычисления доминируют). Если ваша программа в основном занимается вводом-выводом, что типично

для сетевых коммуникаций, потоки часто являются разумным выбором, потому что они проводят большую часть времени в ожидании.

41. Проверка существования путей в dataclass

Для того чтобы при чтении конфигурационного файла проекта, выполнялась проверка существования путей, следует задекорировать класс-схему следующим образом <https://harrisonmorgan.dev/2020/04/27/advanced-python-data-classes-custom-tools/>

```
def validated_dataclass(cls):
    """
    Class decorator for validating fields
    """
    cls = dataclass(cls)

    def _set_attribute(self, attr, value):
        for field in fields(self):
            if field.name == attr and "validator" in field.metadata:
                value = field.metadata["validator"](value)
                break

        object.__setattr__(self, attr, value)
        cls.__setattr__ = _set_attribute

    return cls

@validated_dataclass
class Paths:
    path_to_test_lp_file: str = field(metadata={"validator": check_existence_path})
    path_to_set_file: str = field(metadata={"validator": check_existence_path})
    path_to_output_dir: str = field(metadata={"validator": check_existence_path})

def check_existence_path(path: str):
    path = pathlib2.Path(path)
    if not path.exists():
        raise FileNotFoundError(f"Path {path} not found ...")

    return path
```

42. Приемы работы с библиотекой SPyQL

SPyQL <https://github.com/dcmoura/spyql> – это утилита командной строки, позволяющая писать SQL-подобные запросы к csv-, json-файлам, с использованием выразительных средств Python.

Прочитать csv-файл и вывести первые две записи в json-формате

```
$ spyql "SELECT * FROM csv LIMIT 2 TO json(indent=2)" < features_a78cbead_bin.csv
{
  "var": "alpha_tu_0_1_12_1",
  "scenario": "a78cbead_bin",
  "varBinaryOriginal": 1,
  "varTypeTrans": 0,
  "varStatus": 1,
  "varMayRoundUp": 0,
```



```

"varMayRoundDown": 0,
"varMayIsActive": 1,
"varIsDeletable": 0,
"varIsRemovable": 0,
"varObj": 0.0,
"varPseudoSol": -0.0,
"NLocksDown": 1,
"NLocksUp": 1,
"IsTransformed": 1,
"multaggrConstant": 0,
"varAggrScalar": 0,
"varAggrConstant": 0,
"varMultaggrNVars": 0,
"varBestBound": -0.0,
"varWorstBound": 1.0,
"varBranchFactor": 1,
"varBranchPriority": 0,
"varBranchDirection": 3,
"varNImpls0": 0,
"varNImpls1": 0,
"varGetNCliques0": 0,
"varGetNCliques1": 0,
"varConflictScore": 1e-12,
"varAvgInferenceScore": 87.0136,
"relaxSolVal": 0.458516,
"varImplRedcost0": 0.0,
"varImplRedcost1": 0.0,
"varPseudocostScore": 0.248279,
"equalToLb": 0,
"equalToUb": 0,
"target": 1
}
...

```

Прочитать csv-файл, сгруппировать по полю `varStatus`, а затем из результата выбрать строки, в которых `varStatus > 2`

```

$ cat features_a78cbead_bin.csv \
  | spyql "SELECT varStatus AS status, count_agg(*) AS count FROM csv GROUP BY 1 TO spy" \
  | spyql "SELECT * FROM spy WHERE status > 2 ORDER BY 2 DESC TO pretty"

```

status	count
3	8361
4	552

43. Приемы работы с библиотекой Pandas

43.1. Общие замечания

Как отмечается в библиотеке `pandarallel` <https://nalepae.github.io/pandarallel/> основной недостаток библиотеки `pandas` заключается в том, что она может *утилизировать только одно ядро процессора*, даже если доступно несколько ядер.

Библиотека `pandarallel` может использовать все доступные ядра процессора, однако ей требуется в два раза больше памяти, чем `pandas`. Не рекомендуется использовать `pandarallel`, если `pandas`-данные не помещаются в память. В этом случае лучше подойдет Spark.

Библиотека Spark позволяет работать с данными, которые *значительно превышают доступную память* (Handle data much bigger than your memory) и может распределять вычисления по нескольким узлам кластера.

43.2. Советы по оптимизации вычислений

В ситуации, когда необходимо итерирование, более быстрым способом итерирования строк будет использование метода `.iterrows()`. Метод `.iterrows()` оптимизирован для работы с кадрами данных, и хотя это наименее эффективный способ большинства стандартных функций, он дает значительное улучшение, по сравнению с базовым итерированием [5, стр. 328]

```
haversine_series = []
for index, row in df.iterrows():
    haversine_series.append(haversine(...))
df["distance"] = haversin_series
```

Однако метод `.iterrows()` не сохраняет типы по строкам. Если требуется сохранять типы атрибутов строки, то лучше воспользоваться методом `.itertuples()`, который поддерживает итерирование по строкам в виде именованных кортежей. Кроме того часто `.itertuples()` оказывается быстрее `.iterrows()`.

Более эффективным способом является использование метода `.apply()`, который применяет функцию вдоль определенной оси (вдоль строк или вдоль столбцов) кадра данных.

Хотя метод `.apply()` также по своей сути *перебирает строки* (!), он делает это намного эффективнее, чем метод `.iterrows()`, используя ряд внутренних оптимизаций, например, применяя итераторы, написанные на Cython [5, стр. 328]

```
df["distance"] = df.apply(lambda row: haversine(..., ..., row["latitude"], row["longitude"]),
    axis=1)
```

Но гораздо эффективнее задействовать *векторизацию* и передать не скаляры, а столбцы

```
df["distance"] = haversine(..., ..., df["latitude"], df["longitude"])
```

Если скорость имеет наивысший приоритет, можно вместо серий использовать *numpy-массивы*. Как и *pandas*, *numpy* работает с массивами. Однако она освобождена от дополнительных вычислительных затрат, связанных с операциями в *pandas*, такими как индексирование, проверка типов данных и т.д. В результате операции над массивами *numpy* могут выполняться значительно быстрее, чем операции над объектами *Series*.

Массивы *numpy* можно использовать вместо объектов *Series*, когда дополнительная функциональность, предлагаемая объектами *Series*, не является критичной. Например, векторизованная реализация функции *haversine* фактически не использует индексы в сериях *longitude* и *latitude*, и поэтому отсутствие этих индексов не приведет к нарушению работы функции

```
df["distance"] = haversine(..., ..., df["latitude"].values, df["longitude"].values)
```

Оптимизацию числовых столбцов можно выполнить с помощью *понижающего преобразования*, используя функцию `pd.to_numeric`

```
df.select_dtypes(np.dtype("int64")).apply(
    pd.to_numeric, # функция, которая применяется к int-столбцам
    downcast="unsigned" # аргумент функции pd.to_numeric
)
```

В значительной степени снижение потребления памяти будет зависеть от оптимизации столбцов типа `object`. Тип `object` представляет значения, использующие питоновские объекты-строки, отчасти это обусловлено отсутствием поддержки пропущенных строковых значений в `numpy`. Python не предполагает точной настройки способа хранения значений в памяти. Это ограничение приводит к тому, что строки хранятся фрагментированно, это потребляет больше памяти и замедляет доступ. Каждый элемент в столбце типа `object` является, по сути, указателем, который содержит «адрес» фактического значения в памяти [5, стр. 347].

Преобразовать столбец типа `object` в столбец типа `category` можно так

```
df["object_col_name"].astype("category")
```

Хотя каждый указатель занимает 1 байт памяти, каждое фактическое строковое значение использует такой объем памяти, какой строка использовала бы, если бы отдельно хранилась в Python.

Тип `category` под капотом для представления строковых значений в столбце вместо исходных использует целочисленные значения. Для этого создается отдельный словарь, в котором исходным значениям сопоставлены целочисленные значения. Это сопоставление будет полезно для столбцов с небольшим числом уникальных значений.

Рекомендуется придерживаться типа `category` при работе с такими столбцами `object`, в которых менее 50% значений являются уникальными. Если все значения в столбце являются уникальными, тип `category` будет использовать больший объем памяти. Это обусловлено тем, что в столбце, помимо целочисленных кодов, представляющих категории, хранятся все исходные строковые значения.

43.3. Рецепты

43.3.1. Приемы работы с кадрами данных

Построить кадр данных заполненный NaN

```
df = pd.DataFrame(np.nan, index=range(10), columns=["col1", "col2", "col3"])
```

Ремарка: с помощью `scipy.sparse.scr_matrix` можно создавать огромные разреженные матрицы

```
from scipy.sparse import csr_matrix  
  
mtx = csr_matrix((300_000, 30_000), dtype=np.int8)
```

Еще для создания разреженных матриц можно воспользоваться функцией `scipy.sparse.lil_matrix`, которая создает разреженные матрицы инкрементно (поэтапно) и представляет список списков разреженных матриц.

Например, индексы столбцов в строке номер 100, элементы которых равны единице можно получить так

```
from scipy.sparse import lil_matrix  
  
mtx = lil_matrix((300_000, 30_000), dtype=np.int8)  
mtx[100:300, 200:250] = 1  
(mtx[100, :] == 1).indices
```

Применить регулярное выражение к строковому атрибуту кадра данных, а затем сделать его вещественным можно так

```
df["col_name"].str.extract(r"^\.*?(\d+[\.]?\d+)s$").astype(np.float32)
```

Вывести точную информацию об использовании памяти

```
df.info(memory_usage="deep")
"""
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 1000 entries, 0 to 999
Data columns (total 3 columns):
#   Column  Non-Null Count  Dtype
---  -
0   key1     1000 non-null     float64
1   key2     1000 non-null     int64
2   color    1000 non-null     object
dtypes: float64(1), int64(1), object(1)
memory usage: 75.3 KB
"""
```

Посмотреть какие строки значений (а не индексы) кадра данных попали в ассоциированные группы

```
df.groupby("color").groups.keys()
```

Заполнить пропущенные значения групповым средним по столбцу. Метод `apply` в случае сгруппированных объектов применяет переданную функцию (в данном случае анонимную) к каждой группе, а внутри группы операции применяются вдоль указанных осей

```
# Нужно отобразить поля, к которым будет применяться функция
df["year"] = df.groupby("color")["year"].apply( # .loc[:, "year"] НЕ РАБОТАЕТ!
    lambda group: group.fillna(group.mean())
)
```

Для того чтобы метод `apply` корректно работал на объекте групп нужно указать с какими полями мы будем работать

```
# Указываем поля "year" и "mark"
df.groupby("model_car_id")["year", "mark"].apply(lambda gr: gr.fillna(gr.mean()))
# или
df.groupby("model_car_id")["year", "mark"].transform(lambda gr: gr.fillna(gr.mean()))
```

Метод `transform` объекта `GroupBy` применяет указанную функцию к каждой группе, а затем помещает результаты в нужные места [3, стр. 291].

В самом простом случае метод `transform` применяет переданную функцию вдоль указанного направления и для каждого элемента возвращает результат преобразования, а в случае если метод `transform` вызывается на `GroupBy`-объекте, то метод применяет указанную функцию для каждой группы и «заменяет» каждый элемент своей группы групповым агрегатом или результатом преобразования (причем для каждого столбца вычисляется свой агрегат)

```
# каждый элемент групп будет заменен количеством элементов в группе
df.groupby("color")["elems"].transform(len)
```

Другими словами, метод `transform` на сгруппированном объекте в том подкадре данных, который возвращается методом, каждый элемент группы «заменяет» групповым агрегатом (или результатом преобразования), а метод `apply` просто применяет указанную функцию к каждой группе [3, стр. 292] и склеивает результаты, т.е. возвращает результат для каждой группы

```
$ df.groupby("color")["a", "e"].transform(lambda gr: gr.mean())
# В столбце 'a' для элементов, попавших в группу, среднее было 49.377..., поэтому эти элементы за-
# менены на соответствующее групповое среднее
```

	a	e
0	49.377209	49.611246
1	49.950178	49.839233
2	49.730188	48.043373
3	49.730188	48.043373
4	49.950178	49.839233
...
9995	49.377209	49.611246
9996	49.377209	49.611246
9997	49.377209	49.611246
9998	49.950178	49.839233
9999	49.950178	49.839233

```
$ df.groupby("color")["a", "e"].apply(lambda gr: gr.mean())
```

	a	e
color		
blue	49.730188	48.043373
green	49.950178	49.839233
red	49.377209	49.611246

Получается, что ключевое отличие метода `transform` от метода `apply` на GroupBy-объектах заключается в том, что `transform` преобразует элементы группы, а метод `apply` просто разбивает кадр данных на группы, применяет указанную функцию к каждой группе, а затем пытается склеить результаты, то есть это что-то вроде концепции map-reduce.

Например, если требуется создать новый столбец, элементы которого помечаются меткой "old", если элемент меньше группового среднего и – меткой "new", если элемент больше группового среднего, то можно решить эту задачу с помощью метода `transform`

```
df["avg_a"] = df.groupby("color")["a"].transform(np.mean)
df["age"] = np.where(df["a"] < df["avg_a"], "old", "new")
```

То есть еще раз, метод `transform` применяет указанную функцию (`np.mean`) к каждой группе, а затем возвращает подкадр данных, в котором каждый элемент заменяется групповым агрегатом.

Найти среднее и стандартное отклонение по группам для вещественных столбцов кадра данных

```
df.groupby("label") [
    df.select_dtypes(np.dtype("float64")).columns
].agg([np.mean, np.std]).stack()
```

При проведении разведочного анализа данных лучше всего сначала загрузить данные и исследовать их с помощью запросов/логического отбора. Затем создайте индекс, если ваши данные поддерживают его или если вам требуется повышенная производительность [5, стр. 115]. Операции поиска с использованием индекса обычно выполняются быстрее. В силу лучшей производительности выполнение поиска по индексу (в тех случаях, когда это возможно) обычно является оптимальным решением. Недостаток использования индекса заключается в том, что потребуется время на его создание, кроме того, он занимает больше памяти.

Выполнить слияние кадров данных можно с помощью функции `pd.merge` или метода `.merge`. По умолчанию слияние выполняется по общим меткам столбцов, однако сливать кадры данных можно и по строкам с общими индексами [5, стр. 230]

```
# Слияние по строкам
# Нужно задать оба параметра!
left.merge(right, left_index=True, right_index=True)
```

Кроме того, библиотека pandas предлагает метод `.join()`, который можно использовать для выполнения соединения с помощью *индексных меток* двух объектов `DataFrame` (вместо значений столбцов) [5, стр. 232]

```
# Слияние по строкам
# Здесь предполагается, что кадры данных имеют
# дублирующиеся имена столбцов, поэтому мы задаем lsuffix и rsuffix
left.join(right, lsuffix="_left", rsuffix="_right")
```

Замечание

Метод `.join()` по умолчанию используется *внешнее соединение*, в отличие от метода `.merge()`, в котором по умолчанию применяется *внутреннее соединение*.

Состыковка (stack) помещает уровень индекса столбцов в новый уровень индекса строк

```
df = pd.DataFrame({
    "a": [1, 2],
    "b": [100, 200]
})
"""
   a    b
one 1  100
two 2  200
"""
df.stack()
"""
one a      1
   b    100
two a      2
   b    200
"""
df.loc[("one", "b")] # 100
```

Состыковку удобно применять к результатам агрегации на группах

```
df.groupby("color")[["key1", "key4"]].agg([np.mean, np.std])
"""
           key1           key4
           mean         std mean         std
color
blue  0.904027  0.508690  73.5  21.920310
green -0.493756  1.025554  65.0   9.899495
red   -0.399363         NaN  55.0         NaN
"""
# Состыковка
res = df.groupby("color")[["key1", "key4"]].agg([np.mean, np.std]).stack()
"""
           key1           key4
color
blue mean  0.904027  73.500000
      std  0.508690  21.920310
green mean -0.493756  65.000000
      std  1.025554   9.899495
red  mean -0.399363  55.000000
```

```

"""
res.loc[("blue", "mean")]
"""
key1      0.904027
key4      73.500000
Name: (blue, mean), dtype: float64
"""

```

При построении агрегатов со сложным именем можно воспользоваться псевдонимами

```

df.groupby("color")[["key1", "key2"]].agg([("MEAN", np.nanmean), ("STD", np.nanstd)]).stack()
"""
           key1      key2
color
blue MEAN  0.544329  0.731969
green MEAN  0.231420  1.272040
      STD           NaN  1.255945
red  MEAN -0.399363  0.483054
"""

```

Расстыковка (unstack) помещает самый внутренний уровень индекса строк в новый уровень индекса столбцов.

Расплавление – это тип организации данных, который часто называют преобразованием объекта DataFrame из «широкого» формата в «длинный» формат.

```

data = pd.DataFrame({
    "Name": ["Mike", "Mikal"],
    "Height": [6.1, 6.0],
    "Weight": [220, 185],
})
data
"""
   Name  Height  Weight
0  Mike     6.1     220
1 Mikael    6.0     185
"""

```

Расплавливаем кадр данных

```

pd.melt(
    data,
    id_vars=["Name"],
    value_vars=["Height", "Weight"]
)
"""
   Name variable  value
0  Mike   Height     6.1
1 Mikael  Height     6.0
2  Mike   Weight    220.0
3 Mikael  Weight    185.0
"""

```

Получить данные по группе

```
df.groupby("color").get_group("blue")
```

Отфильтровать группы по условию. Если функция возвращает True, то группа включается в результат

```
df.groupby("color").filter(lambda group: group.col_name.count() > 1)
```

43.3.2. Изменение настроек отдельной линии графика на базе кадра данных

Чтобы изменить, например, толщину линии для какого-то заданного столбца кадра данных нужно получить доступ к перечню линий `ax.get_lines()`

```
fig, ax = plt.subplots(figsize=(15, 5))

df.plot(ax=ax, marker="o", style=["b--", "k-", "r-"])

for line in ax.get_lines():
    if line.get_label() == "col1":
        line.set_linewidth(3.5)
        line.set_alpha(0.8)
        line.set_marker("x")
```

43.3.3. Использование регулярных выражений и обращений по имени группы при обработке строк

Привести столбец строкового типа к числовому типу с предварительной подготовкой строки по регулярному выражению можно так

```
pd.to_numeric(
    logs.loc[:, "time"].replace( # HE .str.replace!
        to_replace=r"^\.?(\d+).*$",
        value=r"\1", # обращение к первой группе
        regex=True,
    )
)
```

43.3.4. Работа с JSON. Комбинация explode и pd.json_normalize

Пусть есть такой кадр данных

```
df = pd.DataFrame({
    "key1": [10],
    "color": ["red"],
    "records": [[ # list[dict]
        {"solver_name": "highs", "mip_gap": 0.001, "obj_val": 1e+20},
        {"solver_name": "cplex", "mip_gap": 0.015},
        {"solver_name": "scip", "mip_gap": 0.003}
    ]],
})
```

И требуется разобрать атрибут `records`, то есть список словарей представить в виде набора строк кадра данных. Сделать это можно так

```
df.loc[:, "records"].explode("records", ignore_index=True)
```

Теперь эту конструкцию можно обернуть функцией `pd.json_normalize` (несогласованные поля будут забиты NaN)

```
pd.json_normalize(df.loc[:, "records"].explode("records"))
# out
# solver_name mip_gap obj_val
# 0 highs 0.001 1.000000e+20
# 1 cplex 0.015 NaN
# 2 scip 0.003 NaN
```


43.3.5. Кратная подстановка столбца

Если требуется значения одного столбца подставить в несколько других столбцов, то можно поступить так

```
columns: t.List[str] = [...]
df.loc[:, columns] = np.repeat(
    # значениями столбца "value" нужно заполнить другие столбцы
    df["value"].values.reshape(-1, 1),
    repeats=len(columns),
    axis=1
)
```

43.3.6. Сборка строк группы в список словарей

Пусть есть кадр данных

```
df = pd.DataFrame({
    "key1": [0, 10, -1, -3, 5, 6],
    "key2": ["red", "green", "blue", "orange", "red", "blue"],
    "key3": [25, 0, -3, 10, 5, 1],
    "gr_key": [0] * 2 + [1] * 4,
})
"""
   key1  key2  key3  key0
0     0   red   25     0
1    10 green    0     0
2    -1  blue   -3     1
3    -3 orange   10     1
4     5   red    5     1
5     6  blue    1     1
"""
```

Требуется каждую строку группы "gr_key" представить в виде списка строк

```
df.groupby("gr_key").get_group(0)
"""
   key1  key2  key3  key0
0     0   red   25     0
1    10 green    0     0
"""

df.groupby("gr_key").get_group(1)
"""
   key1  key2  key3  key0
2    -1  blue   -3     1
3    -3 orange   10     1
4     5   red    5     1
5     6  blue    1     1
"""

df.groupby("gr_key")[["key1", "key2", "key3"]].apply(
    lambda gr: list(row[1].to_dict()
    for row in gr.iterrows())
)
"""
key0
0    [{'key1': 0, 'key2': 'red', 'key3': 25}, {'key...
1    [{'key1': -1, 'key2': 'blue', 'key3': -3}, {'k...
"""
```

К каждой группе (подкадру данных) применяется метод `iterrows()`, который возвращает итератор строк. Каждая строка представляет собой 2-кортеж «индекс строки, строку-серию». Все строки группы собираются в список. Таким образом результат будет содержать столько строк сколько уникальных значений содержит атрибут группировки.

Список литературы

1. *Бизли Д.* Python. Подробный справочник. – СПб.: Символ-Плюс, 2010. – 864 с.
2. *Бизли Д.* Python. Книга рецептов. – М.: ДМК Пресс., 2019. – 648 с.
3. *Маккинли У.* Python и анализ данных, 2015. – 482 с.
4. *Рамальо Л.* Python – к вершинам мастерства: Лаконичное и эффективное программирование. – М.: МК Пресс, 2022. – 898 с.
5. *Хейдт М., Груздев А.* Изучаем pandas. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 682 с.
6. *Хостманн К.* Scala для нетерпеливых. – М.: ДМК Пресс, 2013. – 408 с.