Testování, typové anotace, dokumentace

IB111 Základy programování

Tomáš Vojnar (na základě slajdů Nikoly Beneše)

10. října 2025

Připomenutí: O čem přemýšlet při vytváření programů

Základní otázky

- Je můj program dobře napsaný?
  - Budu mu rozumět, až jej uvidím po půl roce?
  - Bude mu rozumět někdo jiný?
- Funguje můj program správně?
  - Dává očekávané odpovědi?
  - Má očekávané chování?
  - Co je vlastně očekávané?
- Funguje můj program efektivně?
  - Je dostatečně rychlý?
  - Nevyužívá příliš mnoho paměti?
  - A co jiné zdroje (síťová komunikace, ...)?

Testování

Chyby v programech

Programy obsahují chyby

- Chyby jsou běžné,
- všichni chybují.

Chyby mohou být závažné

- https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_software_bugs

Hledat/odstraňovat chyby je důležité

- … až tak, že se někdy vypisují odměny za nalezení chyb https://en.wikipedia.org/wiki/Bug_bounty_program.

Chyby v programech

Jak odhalit chyby? / Jak ověřit, že program chyby nemá?

- Jeden z důležitých problémů informatiky.

- Testování.
  - Různé techniky, různé úrovně (funkce, moduly, …).
  - Statické i dynamické.
- Formální metody.
  - Mohou nejen nalézt chyby, ale i dokázat korektnost.
  - Statická analýza, model checking, deduktivní verifikace.
  - Různé stupně automatizace, škálovatelnosti.
- Code review člověkem.

- Nelze dobře realizovat bez specifikace očekávaného chování.
  - Jinak max. obecné chyby (přístup mimo rozsah apod.) či slepé „exploratory“ testování: nestačí.
  - Nutno ujasnit si PŘED začátkem ~~testování~~ programování.

Testování

(Rozsáhlé téma, jen lehce nakousneme.)

- Velmi důležitá část vývoje software (až 80 % nákladů).
- Různé úrovně, různé přístupy:
  - unit testing – testování malých kusů kódu,
  - module testing, integration testing, system testing, …,
  - coverage-driven, fuzz, combinatorial, performance, static, …
- Automatické testování:
  - kód, jehož cílem je otestovat jiný kód.
- Co nejvíce různých (druhů) vstupů, resp. chování (např. u paralelismu):
  - snaha otestovat co nejvíce možností.
- Testování nikdy není úplné
  - vstupů je velmi/nekonečně mnoho.

Vstupní a výstupní podmínky

Jedna z možností, jak specifikovat očekávané chování.

Vstupní podmínka (*precondition*) programu, podprogramu, ...

- Jaká data očekáváme:
  - parametry, globální proměnné, externí data (soubory aj.);
  - typ, možné hodnoty, jejich formát, ...

Výstupní podmínka (*postcondition*) programu, podprogramu, ...

- Co bude výsledkem, jaký je efekt:
  - konečnost běhu, návratové hodnoty, vedlejší efekty.

Vstupní a výstupní podmínky

Mohou být zapsány různě.

- Volný jazyk: manuál, dokumentační řetězce v Pythonu atd.
- Základní programové konstrukce: např. assert.
- Rozšířené anotace programů: např. Deal pro Python.
- Formální prostředky – např. Hoareova logika, ACSL pro C, ….
- Implicitní – název podprogramu, názvy parametrů, …
- Kombinace.

Nutný obvykle kompromis.

- Vše naprogramováno/formalizováno: drahé sepsání i kontrola.
- Vše implicitní: riziko nepochopení, špatného použití.

Vstupní a výstupní podmínky

Program/podprogram s očekávaným konečným během je korektní vůči dané dvojici vstupní a výstupní podmínky:

- pro všechny vstupy splňující vstupní podmínku skončí a
- efekt odpovídá výstupní podmínce.

Pro vstupy neodpovídající vstupní podmínce není chování (vůbec) definováno!

Každý program je korektní vůči nějakým vstupně/výstupním podmínkám: např. false/cokoliv.

Vývojář musí dodržet zadané vstupně/výstupní podmínky.

- Max zeslabit (rozvolnit) vstupní, zesílit výstupní – může/nemusí být oceněno.
- Př.: zadání říká, že výstup je seznam, zesílení: bude seřazený.

Vstupní a výstupní podmínky

fact.py

Příklad – faktoriál.

- Vstup: nezáporné celé číslo `num`.
- Výstup: faktoriál čísla `num`.

```
def fact(num):
    result = 1
    while num != 0:
        result *= num
        num -= 1
    return result
```

- Je tento algoritmus korektní? ANO
- A co když zavoláme `fact(-7)`?
  To nás nezajímá, -7 nesplňuje *vstupní podmínku*.

Vstupní a výstupní podmínky

Příklad – největší společný dělitel.

- Vstup: dvě nezáporná celá čísla `a`, `b` taková,
  že alespoň jedno z nich není nula.
- Výstup: největší společný dělitel `a` i `b`,
  podrobněji: číslo `d` takové, že
  - `d` je dělitelem `a` i `b`, tedy `a = xd` a `b = yd` pro nějaké celé `x`,`y`,
  - a pokud je `z` dělitelem `a` i `b`, pak `z <= d`.

Poznámka: Kdybychom změnili poslední řádek na
„pokud je `z` dělitelem `a` i `b`, pak `z` dělí `d`“,
pak můžeme na vstupu povolit i dvojici nul.

Vstupní a výstupní podmínky

Příklad – řazení seznamu čísel od nejmenšího po největší.

- Vstup: seznam čísel `my_list`.
- Výstup: seznam čísel `result`, který
  - je seřazený od nejmenšího po největší, tj. platí `result[0] <= result[1] <= ... <= result[-1]`
  - a obsahuje stejná čísla jako vstupní seznam, a to ve stejném počtu (tj. je to permutace původního seznamu).

Unit testing

simple_test.py

- Testování jednotlivých částí kódu (podprogramů).
- Podprogramy, které testují, zda kód funguje správně.

```
def test_fact1():
    if fact(17) == 355687428096000:
        print("OK")
    else:
        print("Chyba! Funkce fact dává špatný "
              "výsledek pro vstup 17.")
    # ...
```

- Výhody oproti „ručnímu“ testování?
  - můžeme spouštět opakovaně,
  - např. po každé změně v kódu.

Příkaz `assert`

`simple_test.py`

- Způsob, jak do kódu psát podmínky, jež zaručeně musí platit.
  - Interpret je zkontroluje[1],
  - když neplatí, ukončí program s chybovou hláškou.

- Použití:
  - testování,
  - ověření předpokladu, jenž nutně *musí platit* v určitém místě programu (často: vstupy podprogramů, hlavička cyklu, …).

```
def test_fact2():
    assert fact(17) == 355687428096000, \
        "Špatný výsledek pro vstup 17."
    # ...
```

- Nepoužívejte pro kontrolu uživatelského vstupu!
  - Selhání příkazu `assert` vždy znamená *chybu v programu*.

[1] Nejsou-li zapnuty optimalizace, což standardně (v Pythonu) nejsou.

Příklad použití příkazu assert

sqrt_assert.py

```
def square_root(x, precision):
    lower = 0.0
    upper = x
    middle = (lower + upper) / 2
    while abs(middle ** 2 - x) > precision:
        assert lower ** 2 <= x <= upper ** 2, \
            "The solution is outside the bounds."
        if middle ** 2 > x:
            upper = middle
        elif middle ** 2 < x:
            lower = middle
        middle = (lower + upper) / 2
    return middle
```

`assert` a vstupní podmínky (*preconditions*)

`assert` pro kontrolu vstupní podmínky

- Užitečné např. v pomocných/knihovních funkcích – pro kontrolu, že nejsou někde volány s nevalidními vstupy.
- (Ne všechny vstupní podmínky se vždy takto zapisují a testují.)

```
def fact(num):
    assert num >= 0
    ...
```

Pro účely tohoto předmětu

- V testech nikdy nezkoušíme vstupy, které nesplňují vstupní podmínku zadaných funkcí – je tedy úplně jedno, co se v takovém případě stane.

Příklad použití příkazu assert

matrix_assert.py

```
def matrix_mult(left, right):
    l_rows, l_cols = matrix_size(left)
    r_rows, r_cols = matrix_size(right)
    assert l_cols == r_rows, \
        "Incompatible matrix sizes"
    # ...

def matrix_size(matrix):
    rows = len(matrix)
    assert rows > 0, "The matrix is empty"
    cols = len(matrix[0])
    for i in range(1, len(matrix)):
        assert len(matrix[i]) == cols, \
            "Not all rows have the same length"
    return rows, cols
```

assert False

argmin.py

```
def argmin(a_list):
    m = min(a_list)
    for i, value in enumerate(a_list):
        if m == value:
            return i

    assert False
```

- Příkaz `assert False` říká:
  „sem se vykonávání programu nemůže dostat“.
- Lepší řešení než „`return` nějaké náhodné hodnoty“; proč?
  - Čitelnost – jasný záměr.
  - Obrana proti chybám – program selže, místo aby počítal s nesmyslnou hodnotou.

Jak a kdy testovat?

Jak

- Začít od jednotlivých, malých částí kódu: podprogramů (včetně pomocných).
  - U složitějších programů mohou být některé podprogramy simulovány.
- Testovat, že chování odpovídá specifikaci:
  - bez ohledu na implementaci testované funkce.
- Zkusit víc různých vstupů:
  - snažit se pokrýt co nejvíc různých možností,
  - nezapomenout na krajní hodnoty.

Kdy

- Tradičně: po každé implementované části.
- Alternativně: předtím, než začnete programovat.
  - Test-Driven Development.
  - Donutí přemýšlet nad tím, co vlastně chcete programovat.

Typové anotace v Pythonu

Typové systémy (lehký úvod)

Silný vs. slabý typový systém – dle míry toho,

- jak velká omezení typový systém klade,
- jak snadno se ta omezení dají obejít.
- Není zcela jasně definováno, neostrá hranice.

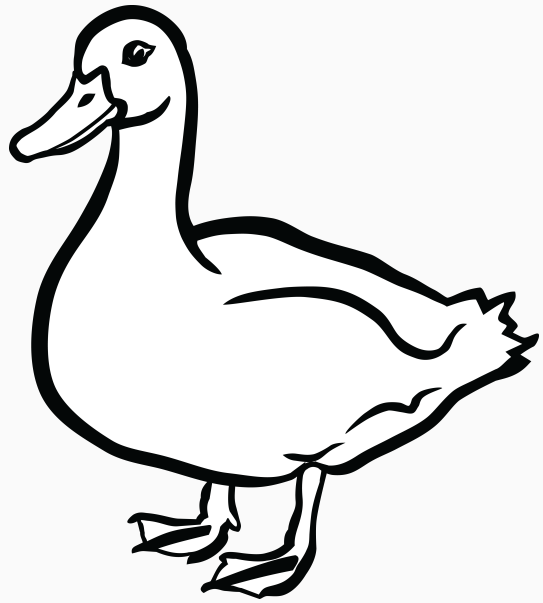
Dynamické vs. statické typování

- Statické: proměnné (funkce apod.) mají svůj typ,
  - typy kontrolovány *před spuštěním* programu,
  - typicky v době kompilace,
  - typová chyba zabrání spuštění programu.
- Dynamické: objekty mají svůj typ,
  - typy kontrolovány *za běhu* programu,
  - typová chyba ukončí program (nebo vyvolá výjimku apod.).

Výhody statických a dynamických typových systémů

Dynamické:

- jednodušší, rychlejší vývoj,
- stručnější kód,
- větší flexibilita,
- snazší polymorfismus (duck-typing).



Statické:

- bezpečnější,
- odhalí chyby dřív, než se stanou kritickými,
  - „lépe se Vám v noci spí“,
- často umožňuje rychlejší běh programu,
- informace o typech může mít dokumentační funkci
  - (a kontroluje ji stroj, ne člověk).

Typové anotace v Pythonu

- Od verze 3.6 (omezeně i v některých starších verzích).
- Přináší (některé) výhody statického typového systému do dynamicky typovaného jazyka:
  - odhalení potenciálních chyb *před spuštěním* programu,
  - nutnost přemýšlet o typech vede (často) k lepšímu kódu,
  - lepší spolupráce na větších projektech,
  - některá IDE fungují lépe („našeptávání“).
- Interpret Pythonu je *nekontroluje*.
- Používají je nástroje pro statickou analýzu kódu:
  - součástí některých IDE,
  - samostatné,
  - my budeme používat: *mypy*,
  - http://mypy-lang.org.

annotations.py

Typová anotace funkcí – část vstupní/výstupní podmínky.

```
def is_triangle(a: int, b: int, c: int) -> bool:
```

- Typy formálních parametrů (tj. co funkce očekává).
- Typ návratové hodnoty (tj. co funkce slibuje, že vrátí).
- Pokud funkce nic nevrací, používáme `None`.
- Neanotované funkce *mypy* ignoruje (dá se změnit `--strict`).

Typová anotace proměnných

- Většinou není potřeba – *mypy* si umí typ odvodit z přiřazení.
- Ale pořád je zde jistá dokumentační vlastnost.

```
city: str = "Sparta"
soldier_count = 300  # type: int
```

Složené typy: `list`, `tuple`

`list_tuple.py`

Anotace pro seznamy: `list[typ]`.

- Všechny položky seznamu stejného typu.

Anotace pro ntice: `tuple[typ1, typ2, typ3]` apod.

- Typ pro každou položku ntice.

```
def average(numbers: list[float]) -> float:
    return sum(numbers) / len(numbers)

my_list: list[int] = []

def minmax(num1: int, num2: int) -> tuple[int, int]:
    return min(num1, num2), max(num1, num2)
```

Poznámka: Ve starších verzích Pythonu (před 3.10) bylo třeba importovat typové anotace (`List`, `Tuple`) z knihovny `typing`.

Typ nebo `None`, typová synonyma

maybe.py type_synonym.py

Funkce, které někdy vrací hodnotu a někdy `None`.

- (Ve starším Pythonu pomocí `Optional` z knihovny `typing`.)

```
def safe_divide(p: float, q: float) -> float | None:
    return None if q == 0 else p / q
```

Typová synonyma (pro čitelnější anotace).

- Pro jména vlastních typů používáme `CamelCase`.

```
Book = tuple[str, str, float]

def get_book(database: list[Book], title: str) \
        -> Book | None:
    for book in database:
        book_title, _, _ = book
        if book_title == title:
            return book
```

Automatické odvození typu nebo None

maybe.py

mypy umí pracovat s **if** a **assert**.

```
result = safe_divide(3.14, 7.0)
if result is not None:
    # mypy knows result is not None here
    print(result + 1)

if result is None:
    print("None")
else:
    # mypy knows result is not None here
    print(result + 1)

assert result is not None
# mypy knows result is not None here
print(result + 1)
```

Seznamy prvků nebo `None`

`list_maybe.py`

```
list_maybe: list[int | None] = [1, 3, None, 3, 7]
```

Následující s ‘mypy‘ funguje:

```
assert list_maybe[1] is not None
num = list_maybe[1] + 1
```

Následující bohužel ne:

- `mypy` provádí jednoduchou statickou analýzu kódu, nevyhodnocuje plně výrazy.

```
assert list_maybe[i] is not None
num = list_maybe[i] + 1
```

Řešením je použít novou proměnnou (to je často i čitelnější).

```
ith_elem = list_maybe[i]
assert ith_elem is not None
num = ith_elem + 1
```

V čem je problém?

typing_problem.py

```
def maybe_get_pair() -> tuple[int, int] | None:
    return 0, 0

if maybe_get_pair() is not None:
    row, col = maybe_get_pair()
```

- `mypy` se při volání funkcí nedívá „dovnitř“, jen na anotace.
- `mypy` neví, že dvě *různá* volání funkce vrátí stejný výsledek.
- Bez hlubší analýzy to obecně nemůžeme vědět.

Jsou tyto funkce ekvivalentní?

impure.py

```
def fun1() -> int:
    if answer() == 42:
        return answer()
    return 0
```

```
def fun2() -> int:
    result = answer()
    if result == 42:
        return result
    return 0
```

- Obecně NE!
- Funkce `answer` nemusí být *čistá* a při různých voláních může vracet různé hodnoty:
  - čtení vstupu od uživatele (`input`),
  - náhodná čísla (`random`),
  - globální proměnné,
  - aktuální čas (`datetime`),
  - čtení ze souboru, komunikace po síti, ...

Jsou tyto funkce ekvivalentní?

impure.py

```python
def fun1() -> int:
    if answer() == 42:
        return answer()
    return 0
```

```python
def fun2() -> int:
    result = answer()
    if result == 42:
        return result
    return 0
```

```python
def answer() -> int:
    global_list.append(0)
    return len(global_list)
```

```python
global_list: list[int] = []
```

Jak používat typové anotace?

Od 4. kapitoly povinné!

- Anotujte funkce (i pomocné):
  - parametry i návratovou hodnotu.
- Zkuste spustit *mypy* s volbou `--strict`.
- Pokud je všechno v pořádku, jste hotovi.
- Pokud si *mypy* stěžuje, přečtěte si, co říká …
  - … a podle toho opravte svůj kód.
  - Ale ne dodáním nějaké nesmyslné konstrukce,
    - ani s poznámkou „for mypy to be happy“.
- Nejste-li si jistí, co hlášení od *mypy* znamená,
  - zkuste si ho přečíst (a přeložit z angličtiny),
  - zeptejte se – cvičící(ho), na diskusním fóru, na konzultacích, …

Proměnné většinou není třeba anotovat.

- Kdyby to bylo nutné, *mypy* si bude stěžovat.

Dokumentace, komentáře

Dokumentace a komentáře

Části kódu s dokumentační funkcí

- píšeme pro sebe i pro ostatní,
- komentáře v kódu,
- dokumentace rozhraní –
  - v Pythonu: dokumentační řetězce (*docstring*),
- názvy (modulů, funkcí, proměnných),
- typové anotace.

Nejlepší kód je takový, který se (co nejvíc) dokumentuje sám.

Komentáře

- Smyslem komentářů je usnadnit čtenáři pochopení kódu;
  - komentáře jsou „odpovědi na (očekávané) otázky“.
- Je ovšem vždy lepší zlepšit čitelnost kódu jako takového:
  - vhodně pojmenované proměnné a funkce,
  - vhodná dekompozice funkcí,
  - rozumná struktura programu,
  - ...

Co nedělat?

- Nekomentujte, co a jak kód dělá; komentujte *proč*.
- Nekomentujte špatný kód; přepište jej.
- Neduplikujte informace, které lze snadno vyčíst z kódu.
- Nepoužívejte jiný jazyk než angličtinu.

Příklady špatných komentářů


```
x += 1  # increment x by one

a = b   # assign the value of b to a

direction = 1  # left

if output:  # print message
    print(message)

def set_last_name(user, last_name):
    # set user's name
    user.last_name = last_name
```

Příklady špatných komentářů


```
# iterate over all students in a class
for x in xs:
    # if the student has failed the exam
    if x.score / total < 0.98:
        # set student's grade to F
        x.grade = 5
```

Lepší řešení:

```
for student in students:
    if has_failed(student):
        student.grade = GRADE_F
```

Příklady dobrých komentářů

```
SOUND_SPEED = 343210  # mm/s
TIMER_PORT = 0x0A  # see datasheet XYZ012
BLINKING_DELAY = 10000  # microseconds

# we cannot use random.choice on a dict,
# see https://bugs.python.org/issue33098

# make sure file will not be processed again
file.completed = True
```

Příklady dobrých komentářů

day_of_week.py

```
def day_of_week(day: int, month: int, year: int) -> int:
    # this uses a variation on Gauss's method as described in
    # en.wikipedia.org/wiki/Determination_of_the_day_of_the_week

    # shift month so that March = 1 and decrease year for Jan, Feb
    if month < 3:
        year -= 1
        month += 10
    else:
        month -= 2

    century = year // 100
    year %= 100

    return (day + (26 * month - 2) // 10 +
            year + (year // 4) +
            (century // 4) - 2 * century) % 7
```

Dokumentační řetězce v Pythonu

do_nothing.py

Volně ležící řetězec na začátku funkce (třídy, metody, modulu),

- typicky víceřádkový (uvnitř `""" ... """`).

```
def do_nothing() -> None:
    """This does nothing.

    This really does nothing,
    but does so very efficiently."""
```

- Online nápověda v shellu: `help(do_nothing)` (apod. v IDE),
  - obsahuje i typové anotace funkce.
- K řetězci se dá dostat pomocí `do_nothing.__doc__`.

Konvence pro psaní dokumentace

- Oficiální PEP: https://www.python.org/dev/peps/pep-0257/
- Často součást *coding guides*, např. styl Google.

Dokumentace rozhraní

gcd_doc.py day_of_week.py

Ideální místo pro popis vstupních a výstupních podmínek,

- resp. těch jejich částí, na které nestačí typové anotace.

```
def gcd(a: int, b: int) -> int:
    """Returns the greatest common divisor of a, b.

    Assumes that both a, b are nonnegative
    and at most one of them is zero."""
    ...

def day_of_week(day: int, month: int, year: int) -> int:
    """Returns the day of week (0 for Sunday) for
    the given date in the Gregorian calendar."""
    ...
```

Dokumentace vs. komentáře v kódu

Dokumentace

- Je určena pro ty, kdo budou kód používat.
- Vysvětluje, co funkce (modul, program, ...) dělá,
  - např. vstupní a výstupní podmínky.
- Nezabývá se detaily implementace.
- Uživatelský manuál, návod k použití.

Komentáře v kódu

- Jsou určeny pro ty, kdo budou kód číst.
  - (To může být i sám autor, o něco později.)
- Vysvětluje, proč kód dělá to, co dělá.