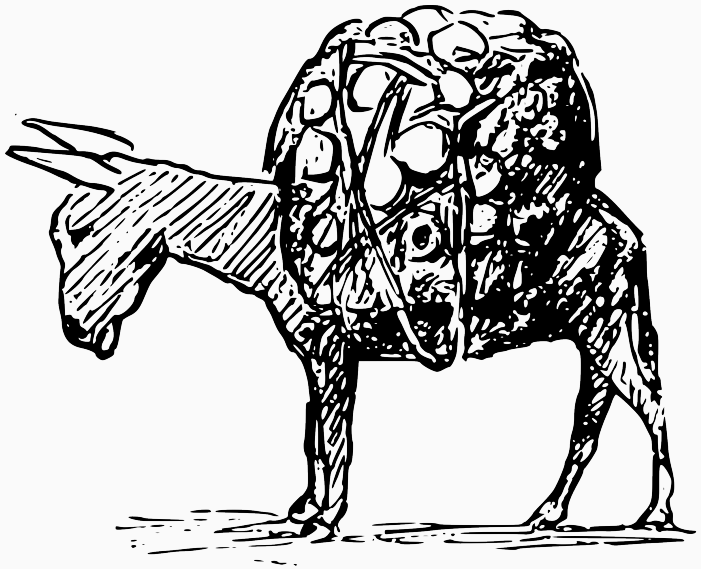
Metody a operátory

PB161 Programování v jazyce C++

Nikola Beneš

5. března 2024

Přetěžování funkcí



Deklarace vs. definice

Deklarace funkce

- „hlavička“ – návratový typ, typy a případně jména parametrů
- nenásleduje-li tělo, jen `;`, jde o dopřednou deklaraci
  - v hlavičkových souborech, pro nepřímou rekurzi apod.

Definice funkce

- deklarace + tělo
- tělo je typicky blok, ale může mít i speciální podobu
  - (uvidíme později)

Deklarace a definice typu

- dopředná deklarace `struct jméno;`
  - není možné pracovat s *hodnotami* typu `jméno` (v tělech funkcí) před skutečnou definicí

Přetěžování (*overloading*) funkcí

fun_overload.cpp

- různé funkce se stejným jménem, ale různými definicemi
- musí se lišit typem nebo počtem parametrů
- nestačí, když se liší pouze návratovým typem!

```
void f(int x) {
    std::cout << "int: " << x << '\n';
}
void f() {
    std::cout << "no parameters\n";
}
void f(double d) {
    std::cout << "double: " << d << '\n';
}

f(42); f(3.14); f();
```

Přetěžování (*overloading*) funkcí

Pravidla pro přetěžování

- přesná shoda
- implicitní typové konverze
  - standardní
  - uživatelsky definované (uvidíme později)
  - přednost má *promotion*[1] (konverze na typ s větším rozsahem)
- jsou-li dvě možnosti stejně „daleko“, jde o chybu
  - nejednoznačné (*ambiguous*) volání

```
void f(int);
void f(double);

f(3.14f);  // floating-point *promotion*, OK
f(42u);    // two possible *conversions*, error
```

[1] viz https://en.cppreference.com/w/cpp/language/implicit_conversion

ref_overload.cpp

Nekonstantní reference

- má přednost před konstantní referencí
- použije se, pokud je argumentem modifikovatelná *l-hodnota*
  - proměnná apod.
  - výraz, který je typu nekonstantní reference

```
void f(int&) {
    std::cout << "reference\n";
}

void f(const int&) {
    std::cout << "const reference\n";
}
```

Poznámka: Přetížení funkce pro referenci a hodnotu vede k nejednoznačnosti.

auto_overload.cpp

Funkce s parametry `auto`

- použije se, nenajde-li se funkce s přesnou shodou
  - (hodnotou nebo referencí)
- tj. předtím, než se začnou zkoušet implicitní konverze
  - nedojde ani na *promotion*

```
void f(auto) {}

void f(int x) {
    std::cout << "int: " << x << '\n';
}

f(3);    // only this one calls f(int)
f('x');
f(0.0);
```

implicit.cpp

Parametry s implicitní hodnotou

- za povinnými parametry (tj. co nejvíce „vpravo“)
- jako inicializace u deklarace proměnné
- hodnota vzniká v okamžiku volání funkce
- více deklarací: inicializace jen u té první
  - zvyk pro čitelnost: opakovat v komentáři
- rozumně *nefunguje* pro generické parametry (`auto`)

```
void f(int x, int y = 7, std::vector<int> v = {}) {
    // ...
}
```

Hledání jména (*lookup*)

Nekvalifikované jméno (nemá před sebou `::`) – *velmi zjednodušeně*

- postupuje se od vnitřního rozsahu směrem k vnějším
  - vnitřní blok uvnitř funkce
  - vnější blok atd.
  - položka složeného typu – uvnitř metody (uvidíme za chvíli)
  - jmenný prostor, v němž je funkce deklarovaná
  - vnější jmenný prostor atd.
  - jmenné prostory dle `using namespace`
- u funkcí navíc tzv. *argument-dependent lookup*

Kvalifikované jméno (má před sebou `::`)

- hledá se uvnitř jmenného prostoru nebo složeného typu
- `::jméno` se hledá v globálním jmenném prostoru

Detaily: https://en.cppreference.com/w/cpp/language/lookup
(velice obtížné čtení)

Hledání jména funkce

Hledání podle argumentů (*Argument-dependent lookup*, ADL)

- kromě klasického hledání se hledá i uvnitř jmenných prostorů *souvisejících* s argumenty
- díky tomuto funguje přetěžování některých operátorů

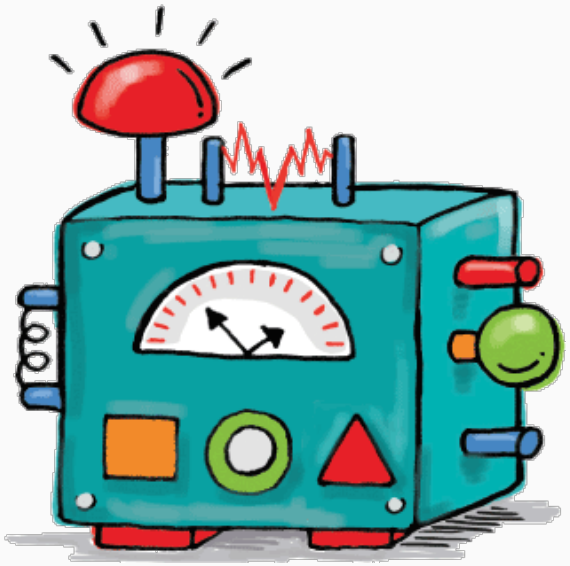
```
std::vector<int> v;
erase(v, 0);  // ADL finds std::erase
```

- má přednost před deklarací `using`
- idiom pro použití funkce `swap`
  - od C++20 možno nahradit `std::ranges::swap(a, b);`

```
using std::swap;
swap(a, b);
```

- pokud typ `a` nebo `b` je ve jmenném prostoru, kde je definována funkce `swap`, použije se ta; jinak se použije `std::swap`

Metody



Názvosloví

Objekt (dle standardu C++)

- úložiště pro hodnotu, s identitou
  - má velikost, životnost[2] (*lifetime*), typ, … (viz odkaz níže)
- abstrakce místa v paměti
  - místo v paměti uchovává bajty, má adresu
  - objekt uchovává hodnoty svého typu, má identitu
- objekty se často realizují jako sekvence bajtů v paměti, ale nemusí tomu tak nutně být

Dočasné objekty

- dočasné hodnoty se za určitých okolností stanou objekty
- „když se na ně někdo podívá“ (podrobněji příště)

https://en.cppreference.com/w/cpp/language/object

[2] bude tématem příští přednášky

Názvosloví

Členské proměnné (*member variables*)

- položky složeného datového typu `struct`
- v jiných jazycích „atributy“
  - (v C++ má tento pojem jiný význam)

Členské funkce (*member functions*)

- funkce deklarované uvnitř `struct`
- operují nad hodnotami daného typu
- jinde nazývané „metody“
  - budeme jim tak říkat i zde

- ne-členským funkcím (*non-member function*)
  někdy říkáme „volné“ (*free*)

methods.cpp

Deklarace a definice metod

- deklarace uvnitř definice typu
- definice:
  - uvnitř definice typu (vhodné pro malé metody)
  - odděleně (větší metody)

```
struct canvas {
    std::map<std::tuple<int, int>, char> pixels;
    // ...
    void clear() { pixels.clear(); }

    void draw() const;
    // ...
};
```

methods.cpp

Tělo metody

- jako tělo funkce
- přístup k položkám aktuálního objektu – přímo jejich jmény
- volání jiných metod aktuálního objektu – přímo jejich jmény
  - nezávisí na pořadí deklarace
- `*this` je reference na aktuální objekt (více o `this` později)

Volání metody

- pomocí tečkové notace
- výraz před tečkou – aktuální objekt

```
canvas c;
c.pixel(1, 1) = 'X';
c.pixel(2, 3) = 'Y';
c.draw();
```

Nemodifikující metody

methods.cpp

Kvalifikátor `const`

- součást hlavičky metody, píše se za parametry
- metoda nemění hodnotu objektu – hlídá překladač
- máme-li konstantní (referenci na) objekt,
  smíme volat pouze `const` metody
- možno mít dvě metody stejného jména, s `const` a bez

Doporučení

- deklarujte jako `const` všechny metody,
  které nemají měnit stav objektu
- ochrana proti chybám

Řetězení metod

Metody pro volání `object.metoda1().metoda2().metoda3()`

- někdy oblíbený[3] idiom pro některé návrhové vzory
  - (*named parameter*, *builder pattern*, *fluent interface*, ...)
- implementace:
  - návratová hodnota je *reference* na aktuální typ
  - každé volání vrátí *referenci* na aktuální objekt
  - pomocí `return *this;`
- používá se u některých operátorů (uvidíme za chvíli)

[3] existují argumenty pro i proti; závisí na konkrétním použití

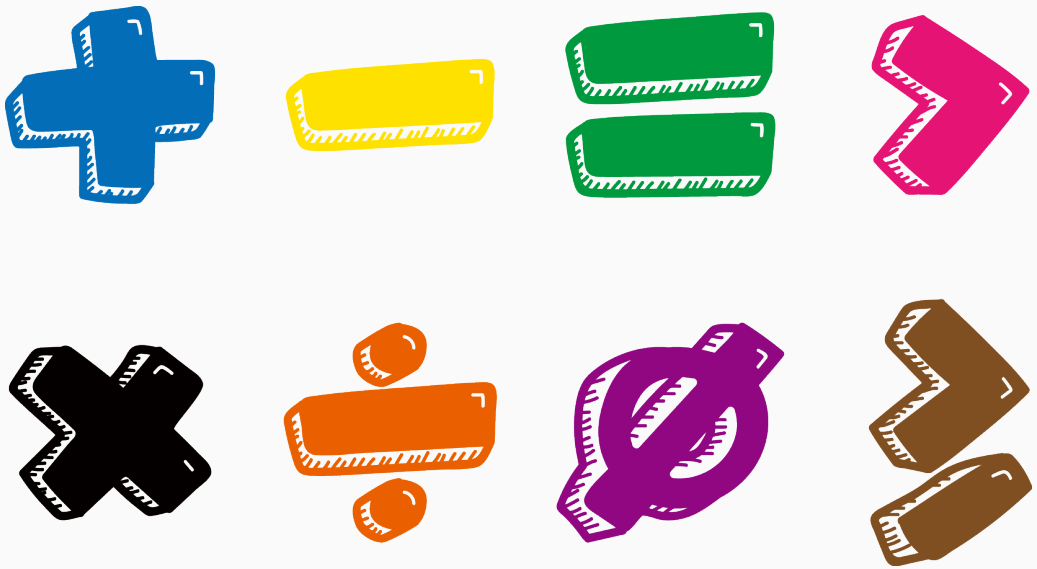
Přátelské funkce

Klíčové slovo `friend`

- deklarace *volné* funkce (případně i s definicí), která úzce souvisí s naším typem – uvnitř definice typu
  - tj. není to metoda, volá se jako běžná volná funkce
- nechceme nebo nemůžeme-li implementovat jako metodu
- časté použití u operátorů (za chvíli)

- technicky má dva významy:
  - `friend` smí přistupovat k soukromým členům (uvidíme později)
  - `friend` funkce včetně definice uvnitř typu nejsou vidět pro normální hledání jména, ale najde je ADL (tzv. *hidden friend idiom*, má různé výhody, mimo záběr předmětu)
- existují i `friend` typy (opět uvidíme později)

Přetěžování operátorů



Motivace

Přetížené operátory (*overloaded operators*)

- už jste viděli
- téměř v libovolném jazyce
  - např. aritmetické operátory pro `int` vs. `float`
  - `+` pro zřetězení, spojení seznamů (Python) apod.
- C++ umožňuje přetížit operátory pro vlastní datové typy

Proč používat?

- lepší čitelnost kódu, snazší použití uživatelských typů
- (redukce chyb)

```
BigInteger a, b, c;
c += a * b;
// vs
c = c.add(a.multiply(b));
```

Přetížené operátory

Syntax

- volná funkce nebo metoda
  - v případě metody je prvním operandem aktuální objekt
- `operator` a označení operátoru

Zdroje

- https://en.cppreference.com/w/cpp/language/operators
- https://en.wikipedia.org/wiki/Operators_in_C_and_C++
- https://stackoverflow.com/questions/4421706/what-are-the-basic-rules-and-idioms-for-operator-overloading
- https://isocpp.org/wiki/faq/operator-overloading

Operator overloading makes life easier for the users of a class, not for the developer of the class! *(C++ FAQ)*

Přetížené operátory

op1.cpp op2.cpp

Operátor jako **volná funkce**

- unární operátor – jeden parametr
- binární operátor – dva parametry
- často jako `friend`

$$\texttt{a + b} \Longrightarrow \texttt{operator+(a, b)}$$

Operátor jako **metoda**

- první (levý) operand je aktuální objekt
- počet parametrů: o jeden méně než pro volnou funkci

$$\texttt{a + b} \Longrightarrow \texttt{a.operator+(b)}$$

Přetížené operátory

Kterou formu zvolit?

- některé operátory není možno přetížit
  - `::`, `.`, `.*`, `? :`
- některé musí být metody
  - `=`, `[]`, `->`, `()`
- ostatní je možno implementovat oběma způsoby

Doporučení

- není-li typ prvního operandu „náš“: volná (**`friend`**) funkce
- unární operátor: metoda
- binární operátor
  - chová se k operandům *stejně*: volná (**`friend`**) funkce
  - chová se k prvnímu operandu jinak: metoda

Přetížené operátory

Omezení

- nelze definovat nové operátory
- nelze měnit počet parametrů (kromě operátoru ( ))
- nelze definovat operátory pro vestavěné typy
  - typ alespoň jednoho operandu musí být uživatelsky definovaný
- nelze měnit prioritu ani asociativitu

Aritmetické operátory

Binární `operator+`, `operator+=` apod.

- doporučeno: vždy obě verze (samostatná, s přiřazením)
- `+`: volná funkce, vrací hodnotu
  - neměla by modifikovat operandy
- `+=`: metoda, vrací referenci na aktuální objekt (`*this`)
  - neměla by modifikovat pravý operand
- často je výhodné implementovat `+` pomocí `+=` (viz další slajd)
  - složité objekty s „drahým“ kopírováním
- někdy je ale výhodná obrácená implementace (`+=` pomocí `+`) nebo dvě oddělené – závisí na konkrétní situaci
- interakce s jinými typy: pamatujte na symetrii
  - např. násobení vektoru skalárem zleva i zprava

Aritmetické operátory

op_arith.cpp

```
struct counter {
    std::map<char, int> freq;
    // ...

    counter& operator+=(const counter& other) {
        // ...
        return *this;
    }

    friend counter operator+(counter lhs,
                             const counter& rhs) {
        lhs += rhs;
        return lhs;
    }
};
```

Aritmetické operátory

op_arith.cpp

```
friend counter operator+(counter lhs,
                         const counter& rhs) {
    lhs += rhs;
    return lhs;
}
```

- levý operand je *hodnota*, ne reference
  - je-li skutečný argument *l-hodnota*, vytvoří se kopie
  - je-li skutečný argument dočasná hodnota, kopie se nevytvoří
- hodnotový parametr za return umožňuje tzv. *přesun*
- vhodné pro sekvence typu `a + b + c + d` (levá asociativita)

více o tom, kdy se dějí a nedějí kopie, a co znamená přesun – příště

Inkrement a dekrement

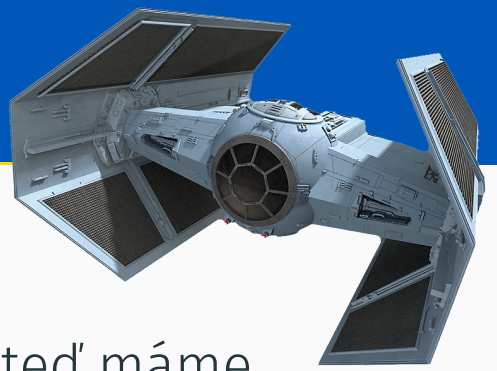
op_inc.cpp

`operator++`, `operator--`

- typicky jako metody
- postfixová varianta má navíc (nepoužitý) parametr typu `int`
- prefix: vrací referenci na aktuální objekt
- postfix: vrací hodnotu (*kopii* objektu před modifikací)

```
label& operator++() {  // prefix
    // ... actual code ...
    return *this;
}
label operator++(int) {  // postfix
    auto copy = *this;
    ++*this;
    return copy;
}
```

Porovnávací operátory



`operator==`, `operator<` a další

- před C++20 bylo třeba přetížit každý zvlášť… …ale teď máme

`operator<=>`

- vrací speciální hodnotu, kterou je možné
  - porovnávat s literálem `0` pomocí `==`, `<` atd., přičemž `(a <=> b) < 0` znamená `a < b` apod.
  - použít s funkcemi `std::is_eq`, `std::is_lt` atd.
- návratový typ je
  - `std::strong_ordering` – totální[4] uspořádání, rovnost znamená nerozlišitelnost
  - `std::weak_ordering` – totální předuspořádání (povoluje rovnost různých hodnot)
  - `std::partial_ordering` – částečné předuspořádání (povoluje neporovnatelné hodnoty, rovnost různých hodnot)

[4] tj. lineární; pro každé `a`, `b` platí jedno z `a < b`, `a == b`, `a > b`

Porovnávací operátory

op_cmp_auto.cpp

Automatické generování všeho

```
friend auto operator<=>(const full&,
                        const full&) = default;
```

- vygeneruje jak `<=>`, tak všechny ostatní porovnávací operátory
- vygenerované `==`, `!=` fungují po složkách
- ostatní lexikograficky v pořadí deklarace (jako u `std::tuple`)
- návratový typ `<=>` dle „nejslabší“ položky

Automatické generování jen (ne)rovnosti

```
friend bool operator==(const only_eq&,
                       const only_eq&) = default;
```

- vygeneruje `==` a `!=`
- nechceme-li ostatní (nebo nedávají smysl)

Porovnávací operátory

op_cmp_user.cpp

Uživatelsky definované chování

- implementujeme-li `==`, automaticky se doplní `!=`
- implementujeme-li `<=>`, automaticky se doplní `<`, `>`, `<=`, `>=`
  - ale ne operátory (ne)rovnosti
  - důvod: rovnost typicky umíme implementovat efektivněji (zejména pro případ, že se hodnoty nerovnají)

```
friend auto operator<=>(const rev_lex& a,
                        const rev_lex& b) {
    if (auto cmp = a.y <=> b.y; cmp != 0) {
        return cmp;
    }
    return a.x <=> b.x;
}
```

Porovnávací operátory

Požadavek standardní knihovny

- pro `std::set`, `std::map`, `std::sort`, atd.
- operátor < musí být *strict weak ordering*
  - ireflexivní, tranzitivní
  - neporovnatelnost musí být tranzitivní
    (neporovnatelné prvky se považují za ekvivalentní)
- výsledek porovnání dvou klíčů uvnitř stejného (uspořádaného) asociativního kontejneru musí být pokaždé stejný

https://en.cppreference.com/w/cpp/named_req/LessThanComparable

Další operátory

Unární aritmetické operátory (unární `+`, `-`, `~`)

- typicky jako metoda vracející novou hodnotu
- `my_type operator-() const { /* ... */ }`

Přiřazení `=`

- uvidíme příště

Dereference (unární `*`, `->`)
Funkční volání (operátor `( )`)
Typové konverze

- uvidíme na konci druhého bloku

Proudový vstup / výstup `>>`, `<<`

- uvidíme na konci třetího bloku

Další operátory

Operátor indexování `[ ]`

- necháme na navazující předmět
- (vhodná implementace potřebuje šablony, `static`, ...)

Vynecháme úplně

- operátor `->*`

Nedoporučeno přetěžovat

- `&&`, `||`, `,` (operátor čárka), unární `&`

Přetěžování operátorů

Doporučení

- nezapomeňte na princip nejmenšího překvapení
- používejte operátory jen tam, kde je jasný jejich význam
- implementujte operátory tak, aby měly očekávanou sémantiku
  - které operátory objekt modifikují
  - které operátory vytvářejí nové hodnoty
  - co se čeká, že vracejí
- (někdy porušuje i standardní knihovna…)

I saw `cout` *being shifted* `"Hello world!"` *times to the left and stopped right there.* *(Steve Gonedes)*