Složené typy a hodnoty

PB161 Programování v jazyce C++

Nikola Beneš

21. února 2023

Odbočka: Co znamená `std::`?

Jmenné prostory

- umožňují lepší koexistenci různých knihoven
- mimo záběr předmětu

Jmenný prostor standardní knihovny `std`

- všechny typy, objekty, funkce standardní knihovny začínají `std::`

Musíme všude psát `std::`?

Direktiva `using namespace` a deklarace `using`

```
using std::cout;
// odteď můžeme psát jen cout
// ...
using namespace std;
// odteď můžeme psát všechno bez std::
```

- platnost do konce aktuálního bloku
  - pokud není uvnitř bloku, nekončí nikdy!

Doporučení a pravidla

- preferujte `using std::jmeno;`
  před `using namespace std;`
- nikdy nepište `using namespace std;`
  nebo `using std::jmeno;` do *hlavičkového souboru*,
  pokud to není uvnitř bloku (funkce)

Součinové typy

Součinové typy

Součinový typ $A \times B$

- hodnoty typu mají dvě složky
  - první je typu A
  - druhá je typu B

Obecněji: Součinový typ $A_1 \times \cdots \times A_n$

- hodnoty typu mají n složek
  - i. složka je typu A_i

Součinové typy v C++

- bez pojmenování složek: `std::tuple`
- s pojmenováním složek (záznam): `struct`
- všechny složky stejného typu: `std::array`

Ntice

tuples.cpp

`std::tuple< typy složek … >`

- přístup k jednotlivým položkám `std::get<INDEX>(t)`
  - `INDEX` je číselný literál (0, 1, 2, …)
  - výsledkem je *l-hodnota*, je-li `t` *l-hodnota*
    (tedy do ní můžeme přiřadit)

`std::pair< typ1, typ2 >`

- dvojice, chová se jako `std::tuple` se dvěma položkami
- dědictví staršího C++;
  občas v návratových hodnotách knihovních funkcí
- (navíc přístup k položkám pomocí `p.first`, `p.second`)

tuples.cpp

Inicializace

- deklarace bez inicializace: všechny složky jsou inicializovány
  - jednoduché typy na „nulu“ (`0`, `false`, `0.0`, …)
  - složené typy jako `= {}` (uvidíme za chvíli)
- deklarace s inicializací:

```
std::tuple< typy … > jméno = { hodnoty … };
```

  - hodnoty musí odpovídat typům (i počtem)
- deklarace s dedukcí typů složek:

```
std::tuple jméno = { hodnoty … };
```

- inicializace kopií:

```
std::tuple< … > jméno = jiná_ntice;
```

  - nebo použijte `auto`

- podobně pro `std::pair`
- `=` před `{` se dá vynechat

Ntice

tuples.cpp

Přiřazení

- `ntice1 = ntice2;` kopíruje jednotlivé položky
  - jako posloupnost přiřazení jednotlivých položek

Porovnávání

- `==`, `!=` po položkách
- `<`, `<=`, `>`, `>=` – lexikograficky
- funguje i pro ntice různých typů (ale stejné velikosti)

Ntice

tuples.cpp

Rozbalení do existujících proměnných – `std::tie`

- obecněji libovolných *l-hodnot*
- `std::tie(proměnné …) = ntice;`
- `std::tie` vytváří ntici *referencí*
- ignorování některých položek pomocí `std::ignore`

Rozbalení s novými jmény – *structured binding*

- `auto [jména …] = ntice;` (kopie)
- `auto& [jména …] = ntice;` (reference)
- `const auto& [jména …] = ntice;` (ref. jen pro čtení)
- není možné specifikovat konkrétní typ

Klíčové slovo `struct`

- vytvoření vlastního datového typu
  - záznam (ntice s pojmenovanými položkami)
  - (může mít i metody apod.; uvidíme příště)
- syntax: `struct jméno { deklarace položek … };`
  - definuje záznamový typ `jméno`
  - deklarace mohou mít i inicializaci
  - přístup k položkám pomocí `.` a jména položky[1]

```
struct point {
    double x, y;
    int colour = -1;
};
point p1;
p1.x = 1.0;
```

[1] je-li `p` *l-hodnota*, pak i `p.x` je *l-hodnota*

struct.cpp

Inicializace

- deklarace bez inicializace: neinicializované položky
  - pokud nemají inicializaci v definici typu
- deklarace s inicializací: `typ jméno = { hodnoty … };`
- od C++20 s pojmenováním položek `.položka = hodnota`
  - možno vynechat ty inicializované v definici
- inicializace `= {}`: inicializace položek „na nulu“ / jako `= {}`
  - pokud nemají inicializaci v definici typu
- inicializace kopií: `typ jméno = hodnota stejného typu`
  - nebo použijte `auto`

Záznamy

`struct.cpp`

Přiřazení

- kopie jednotlivých položek

Rozbalení (structured binding)

- funguje i pro **`struct`**
- pořadí dané deklarací

`std::tie` pro **`struct`** nefunguje

Porovnávání pomocí `==`, `<`, apod.

- pro **`struct`** samo o sobě nefunguje
- ale umíme to vyřešit (příští přednáška)

Pole

array.cpp

```
std::array< typ, počet položek >
```

- počet položek musí být konstantní výraz (např. literál)
- typ musí být hodnotový (tj. ne reference)
- přístup k položkám pomocí `[index]`
  - *reference* na odpovídající položku
  - index mimo rozsah pole – nedefinované chování
- přístup k položkám s kontrolou mezí – `.at(index)`
  - index mimo rozsah pole způsobí vyhození výjimky
  - pomalejší

Poznámka: Máme i pole ve stylu C, ale preferujeme `std::array`.

array.cpp

Inicializace

- deklarace bez inicializace: neinicializované položky
- deklarace s inicializací:

```
std::array< typ, počet > jméno = { hodnoty … };
```

  - vynechané hodnoty inicializovány „na nulu“ / jako `= {}`
  - zejména `= {}` takto inicializuje všechny položky
- deklarace s dedukcí typu a počtu položek:

```
std::array jméno = { hodnoty … };
```

- inicializace kopií: `typ jméno = hodnota stejného typu`
  - nebo použijte **`auto`**

Pole

`array.cpp`

Přiřazení

- kopie jednotlivých položek

Rozbalení (structured binding)

- funguje i pro `std:array`

`std::tie` pro `std::array` nefunguje

Porovnávání pomocí ==, <, apod.

- funguje, lexikografické

Iterace přes položky pole

array.cpp

Cyklus `for` po prvcích (*range-based*)

- `for (typ jméno : výraz) příkaz`
- výraz se musí vyhodnotit na něco *iterovatelného*
- hodnoty typu `std::array` jsou iterovatelné
  - (další uvidíme za chvíli)
- od C++20 můžeme přidat inicializaci
  `for (inicializace; typ jméno : výraz)`

- hodnotový `typ`: vytváříme kopie položek
- reference: odkazujeme se na položky přímo
- `const` reference: jako reference, ale nesmíme položky měnit

Nepojmenované dočasné hodnoty

temp.cpp

```
typ{ hodnoty pro inicializaci … }
```

- výraz, který znamená dočasnou hodnotou
- vznikne jako inicializací `typ tajné_jméno = { … }`, ale
  - není *l-hodnota*
  - přestane existovat na konci příkazu[2]
- `typ` můžeme vynechat, je-li odvoditelný z kontextu
  - parametr ne-generické funkce
  - návratová hodnota funkce

[2] s nějakými výjimkami – více o životních cyklech hodnot později

const.cpp

Použití `const`

- `const` u jednotlivé položky znamená, že je jen pro čtení
  - `std::tuple<const int, double>`
  - `struct typ { const int i; double d; };`
- `const` u celého typu znamená neměnnost všech položek
  - jen „plytká“ – můžeme měnit odkazované hodnoty referencí (a ukazatelů, uvidíme později)

Typové aliasy

alias.cpp

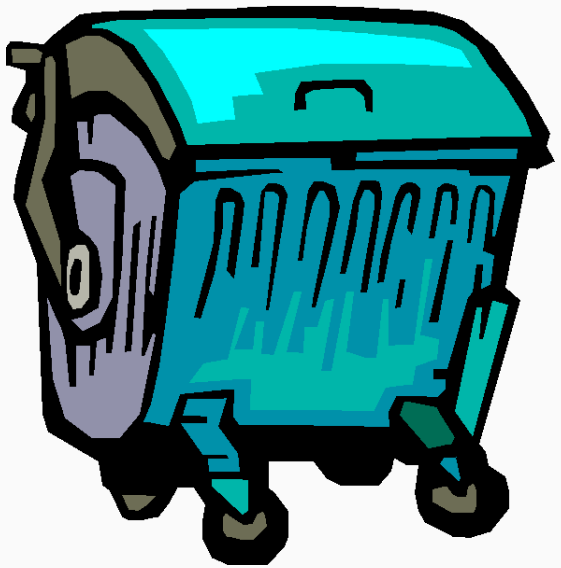
Alias pomocí deklarace `using`

- jako `typedef` (možná znáte z C), ale s lepší syntaxí

```
using point = std::tuple<int, int>;
using circle = std::tuple<point, double>;

circle c = { { 0, 0 }, 3.14 };
```

Kontejnery



Typy kontejnerů

Sekvenční

- `std::vector` – dynamické pole (může se zvětšovat)
- (`std::deque`, `std::list`, `std::forward_list`)

Asociativní

- `std::set` – uspořádaná množina
- `std::map` – slovník, uspořádaný dle klíče
- varianty s opakováním: `std::multiset`, `std::multimap`
- (hashovací varianty: `unordered`)

Adaptéry

- `std::stack` – zásobník (LIFO)
- `std::queue` – fronta (FIFO)
- (`std::priority_queue`)

Odbočka: Iterátory

Iterátory

- reprezentují pozici v kontejneru nebo *za koncem kontejneru*
- používány ve funkcích/metodách standardní knihovny
  - některé návratové hodnoty
  - občas některé parametry
- je-li `it` iterátor, který není *za konec*,
  pak `*it` je reference na odpovídající prvek kontejneru
- dvojice iterátorů občas znamená *polouzavřený interval* $[od, do)$
- chceme-li uložit iterátor do proměnné, hodí se **`auto`**

více o iterátorech později (v páté přednášce)

Kontejnery

Společné operace

- inicializace, přiřazení, porovnávání pomocí `==` a `!=`
  - většinou i lexikografické porovnávání `<` apod.
- `empty()`, `size()`, `clear()`
- `swap()` – prohození obsahu s kontejnerem stejného typu
- `begin()` – iterátor na první prvek kontejneru
- `end()` – iterátor *za konec* kontejneru

Typické další operace

- přístup ke konkrétnímu prvku
  - `front()`, `back()`, indexování (`[]`, `at()`)
- metody pro přidávání / odebírání prvků
- asociativní kontejnery: metody pro hledání

viz tabulku dole na https://en.cppreference.com/w/cpp/container

Dynamické pole

`std::vector< typ položek >`

- dynamické (zvětšující se) pole
- konstantní přidávání[3] / odebírání prvků na konci
- pro většinu běžných použití jako seznam položek stejného typu
- má velikost a kapacitu; dosáhne-li velikost kapacity, další přidání prvku znamená realokaci a přesun položek

Inicializace

- deklarace bez inicializace: prázdné pole (velikost 0, kapacita 0)
- deklarace s inicializací, s dedukcí typu – jako `std::array`

[3] amortizovaně konstantní

Dynamické pole

vector1.cpp vector2.cpp

Základní operace

- indexování: `[]` (bez kontroly mezí), `at()` (s kontrolou mezí)
- `push_back(hodnota)` přidání prvku na konec
  - varianta `emplace_back( parametry … )` vytvoří hodnotu až uvnitř vektoru (inicializací pomocí parametrů)
- `pop_back()` odebrání z konce
  - `front()` / `back()` – reference na první / poslední prvek
- procházení po prvcích pomocí příkazu `for`

Další: https://en.cppreference.com/w/cpp/container/vector

- pozor na rozdíl mezi `resize()` a `reserve()`
  - to první mění velikost (nové prvky inicializovány „na nulu“)
  - to druhé mění kapacitu (typicky nepotřebujeme)

Dynamický bitový vektor

`std::vector<bool>`

- historický relikt, mnozí jej považují za omyl
- na rozdíl od všech ostatních instancí `std::vector` smí být implementován speciálně (typicky po bitech)
  - může porušovat některé vlastnosti kontejnerů
- indexování / dereference iterátoru může vracet speciální objekt (konvertovatelný na `bool`)
  - nemusí být možné mít referenci (`bool&`) na prvek

Poznámka: standardní knihovna obsahuje i statický bitový vektor (tj. fixní velikosti) – `std::bitset`.

Odbočka: Invalidace

Modifikace kontejneru, přes který se iteruje

- nebezpečná; potenciálně nedefinované chování
- proč? modifikace kontejneru může způsobit, že existující iterátory / reference na prvky uvnitř přestanou být platnými
  - u `std::vector` při realokaci, vkládání / mazání uprostřed
- uvnitř `for` cyklu po prvcích je schovaný iterátor

- další důsledky: nedoporučujeme dlouhodobé ukládání iterátorů / referencí na prvky kontejnerů

- pro podrobnosti čtěte dokumentaci
  - popis metod kontejnerů specifikuje, co se zneplatní
- přehledová tabulka na https://en.cppreference.com/w/cpp/container

Zásobník a fronta

stack_queue.cpp

`std::stack< typ >` / `std::queue< typ >`

- kontejnerové adaptéry (delegují operace na kontejner „uvnitř“)
  - implicitně `std::deque`, ale dá se změnit
- stejně pojmenované operace `push()`, `pop()`
  - LIFO pro zásobník, FIFO pro frontu
  - varianta `emplace()` – podobně jako u `std::vector`
- reference na vrchol zásobníku: `top()`
- reference na začátek / konec fronty: `front()` / `back()`

Množina

`std::set< typ >`

- prvky se neopakují
- prvky jsou uspořádané operátorem `<`
- prvky jsou nemodifikovatelné
  - reference na prvky jsou vždy `const`
- (typická implementace: červenočerné stromy)
- vkládání, mazání, hledání v $\mathcal{O}(\log n)$

Inicializace

- podobně jako `std::vector`
- zadané prvky se seřadí a odstraní se duplikace

set.cpp

Základní operace

- vložení: `insert` vrací `std::pair<iterator, bool>`
  - iterátor na vložený (nebo už existující) prvek
  - `true`, pokud byl prvek vložen
  - varianta `emplace` (podobně jako u `std::vector`)
- mazání: `erase`
  - různé varianty (hodnota, iterátor, rozsah iterátorů)
  - varianta s hodnotou vrací počet smazaných prvků (0 nebo 1)
  - varianty s iterátory vrací iterátor na další prvek
- hledání:
  - `contains` vrací `bool`
  - `find` vrací iterátor na prvek nebo `end()`

Další: https://en.cppreference.com/w/cpp/container/set

Slovník

`std::map< typ klíčů, typ hodnot >`

- mapuje klíče na hodnoty, uspořádání podle klíčů (<)
- klíče se nemohou opakovat, jsou neměnné
  - typ položek je `std::pair< const klíč, hodnota >`
- funguje podobně jako `std::set` (typicky stejná implementace)
  - vkládáme celé dvojice
  - hledáme, mažeme podle klíčů
- máme-li iterátor `it` na položku, pak
  - `it->first`[4] je klíč
  - `it->second` je hodnota
  - nebo použijte rozbalení `auto& [k, v] = *it;`

[4] `a->b` je ekvivalentní `(*a).b`

Vkládání

- `insert` má jako parametr dvojici (klíč, hodnota)
  - pokud už klíč existuje, hodnota se nezmění
- `emplace` bere klíč, hodnotu jako dva parametry
- `insert_or_assign` má dva parametry jako `emplace`, mění hodnotu existujícímu klíči
- `try_emplace` má jako první parametr klíč, ostatní parametry se použijí k vytvoření hodnoty uvnitř slovníku

Operátor `[]`

- „indexování“ klíčem
- pokud položka s klíčem neexistuje, *automaticky se vytvoří*
  - s inicializací „na nulu“ / jako `= {}`
  - proto není možné operátor `[]` použít, je-li slovník konstantní

```
wormhole[{ 0, 0 }] = { 1234, 5678 };

if (wormhole[{ 0, 7 }] == std::tuple{ 42, 17 }) {
    std::cout << "Yes\n";
}
```

Metoda `at` – při neexistujícím klíči selže (vyhodí výjimku)

- správné řešení v tomto případě je ale použití `find`

Množiny a slovníky s opakováním

`std::multiset` / `std::multimap`

- fungují podobně jako `std::set` / `std::map`,
  ale dovolují opakování prvků / klíčů
- `find` může najít libovolný vyhovující prvek
- `equal_range` najde rozsah všech vyhovujících prvků
  - vrací dvojici iterátorů
    (na první prvek rozsahu, *za* poslední prvek rozsahu)

Pohled dovnitř kontejneru

subrange.cpp

`std::ranges::subrange`

- pohled (*view*) na rozsah prvků uvnitř kontejneru
- inicializován dvojicí iterátorů
  - na první prvek rozsahu
  - *za* poslední prvek rozsahu
- použití s cyklem `for` po prvcích

```
for (auto [from, to] = m.equal_range('x');
          auto& [k, v] :
              std::ranges::subrange{ from, to }) {
    v += 10;
}
```

„ochutnávka“ z knihovny `ranges`*, více ve třetím bloku*

I will, in fact, claim that the difference between a bad programmer and a good one is whether he considers his code or his data structures more important. Bad programmers worry about the code. Good programmers worry about data structures and their relationships. *(Linus Torvalds)*