Struktury, funkce, reference

Karel Richta a kol.

katedra počítačů FEL ČVUT v Praze

Přednášky byly připraveny i s pomocí materiálů, které vyrobili Ladislav Vágner, Pavel Strnad a Martin Mazanec

© Karel Richta, Martin Hořeňovský, Aleš Hrabalík

Programování v C++, B6B36PCC

10/2023, Lekce 3

https://cw.fel.cvut.cz/wiki/courses/b6b36pcc/start

Reprezentace složitějších dat

- Dosud jsme pracovali se základními datovými typy.
- Způsob uložení triviálních informací není v C a C++ určen striktně, jen jsou stanovena určitá pravidla a závisí na počítači a operačním systému.
- Nyní se budeme zabývat strukturováním dat.

Odvozené (strukturované) typy:

- pole
- struktura (záznam)
- třída
- union (sjednocení)

Odvozené (strukturované) typy

- **Pole**
  - jednorozměrná pole prvků libovolného typu (kromě funkce)
  - indexováno vždy od `0`
- **Struktura** (záznam)
  - obsahuje pojmenované položky různých typů uložené za sebou, implicitně přístupné
- **Třída**
  - obsahuje pojmenované položky různých typů uložené za sebou, implicitně nepřístupné zvenku
- **Union** (sjednocení)
  - pojmenované položky různých typů uložené "přes" sebe

Pole

- Homogenní složený objekt, jeho prvky jsou v paměti uloženy za sebou a odkazovány číselnými indexy.

```
int chlebicky[35];
float kremrole[35];
```

- K jednotlivým prvkům přistupujeme pomocí operace [ ] (indexace pole).
- Rozsah indexů je od `0` do `N-1`, kde `N` je velikost pole – počet prvků v poli.

```
chlebicky[0] = 15;
kremrole[34] = chlebicky[0];
```

- Vícerozměrná pole se vytváří jako pole polí.

```
char pohary[7][5];
pohary[6][4] = 'c';
```

Pole (pokračování)

- Pole prvků typu T se implicitně konvertuje na T*, tj. ukazatel na T. Toho se často využívá k předávání polí (např. předání pole funkci).
- Operátor indexace pole lze použít i na ukazatele.

```
void fce(int* chleb, float* krem) {
    chleb[0] = 15;
    krem[34] = chleb[0];
}

int main() {
    int chlebicky[35];
    float kremrole[35];
    fce(chlebicky, kremrole);
}
```

Příklady na inicializaci polí

```
int P[3] = { 1, 2, 3 };
/* inicializací lze zadat počet prvků pole */
int Q[] = { 1, 2, 3 };
int PP[4][3] = {{1, 3, 5}, {2, 4, 6}, {3, 5, 7}, {4, 6, 8}};
/* následující inicializace má stejný efekt */
int PP[4][3] = { 1, 3, 5, 2, 4, 6, 3, 5, 7, 4, 6, 8 };
/* inicializace nemusí být úplná */
int QQ[][3] = { { 1 }, { 2 }, { 3 }, { 4 } };
/* pole má 4 řádky, explicitně inicializován je jen 1. sloupec;
ostatní jsou vynulovány – chybějící prvky se vždy vynulují */
char Msg[] = "text";
char Msg[5] = { 't', 'e', 'x', 't', '\0' };  /* totéž */
```

Odbočka: konstantní výrazy

- Konstantní výraz je výraz vyhodnotitelný v době překladu
- Nesmí obsahovat vedlejší efekty
- Použití:
  - počet prvků pole
  - inicializace statických objektů
  - návěští v přepínači atd.

```
int pole[10];        // 10 je konstanta
int pole[5 + 7];     // součet konstant je konstanta
const int velikost = 20;
int pole[velikost]; // v pořádku, velikost je const
int pole[velikost + 10]; // OK, výraz je const
```

Odbočka: konstantní výrazy (2)

- Konstantní výraz je výraz vyhodnotitelný v době překladu
- Nesmí obsahovat vedlejší efekty
- Použití:
  - počet prvků pole
  - inicializace statických objektů
  - návěští v přepínači atd.

```
int pole[6 - 7]; // chyba, konstanta je záporná
int velikost2 = 20;
int pole[velikost2]; // chyba, velikost2 není const
int get_size() { ... }
int pole[get_size()]; // chyba, výsledek funkcí není známý
                      // během kompilace
char Msg[4] = "text"; // chyba, nevejde se konečná \0
```

Struktury

- Syntaxe:

  `struct` *značka* { *seznam popisů položek* };

Středník je nutný!

- Popisy položek mají podobný tvar jako deklarace
  - struktura nesmí obsahovat sama sebe (objekt svého typu)
  - struktura smí obsahovat ukazatel na objekt svého typu

- Příklad:

```
struct Osoba {
        std::string jmeno;
        std::string prijmeni;
        int rok_narozeni;
}; // definice struktury
Osoba Jan;
// deklarace proměnné typu Osoba
```

Příklady struktur

- struktura pro binární strom nebo dvousměrně zřetězený seznam:

```
struct TNode {
  std::string slovo;
  int pocet;
  TNode *levy, *pravy;
};
```

- anonymní struktura:

```
struct { int prvni, druha; } p1[9], *p2;
```

- vzájemně odkazované struktury:

```
struct S1; /* neúplná deklarace, lze použít jen pro
vytvoření ukazatelů a referencí */
struct S2 { int obsah; S1* dalsi; };
struct S1 { long obsah; S2* dalsi; };
```

Příklad: Tabulka zaměstnanců

```
const int MAXZAM = 30;

struct Osoba {
    unsigned int ID;
    std::string jmeno;
    std::string prijmeni;
    double plat;
}; // definice struktury Osoba

Osoba tab[MAXZAM]; // tabulka zaměstnanců
```

Příklad: Inicializace tabulky

```
const int MAXZAM = 30;

struct Osoba {
    unsigned int ID;
    std::string jmeno;
    std::string prijmeni;
    double plat;
}; // definice struktury Osoba

Osoba tab[MAXZAM] = {
    { 1, "Karel", "Novák", 10000.0 },
    { 2, "Jana", "Nováková", 8000.0 },
    { 3, "Dáša", "Poláková", 14000.0 },
}; // tabulka zaměstnanců
```

Selekce

- Zpřístupnění položky struktury, třídy nebo unionu.
- Přímá selekce:

  X . položka kde *X* je výraz typu **`struct`**, **`class`** nebo **`union`**
- Nepřímá selekce (přes ukazatel):

  X -> položka kde *X* je výraz typu ukazatel na **`struct`**, **`class`** nebo **`union`**
- *X -> položka* je zkratkou za *(*X) . položka*
- Příklad:

```
struct { int a; char b; } x, *px = &x;
x.a = 1;
x.b = 'a';
px->a = 4;
px->b = 'd';
(*px).b = 'd'; // totéž
```

Výčtový typ

- Syntaxe:

  ```
  enum značka { seznam literálů };
  ```

- Příklad:

  ```
  enum Color { Red, Green, Blue };
  ```

- Literály jsou synonyma celočíselných hodnot

  ```
  /* Red = 0, Green = 1, Blue = 2 */
  ```

  - Takto zavedená jména jsou globální konstanty – nelze tedy v různých výčtech používat stejná jména.

Výčtový typ (pokračování)

- Literálu lze explicitně přiřadit hodnotu:

```
enum Masky { Nula, Jedna, Dva, Ctyri = 4, Osm = 8 };
/* Dva = 2, Ctyri = 4, Osm = 8 */

enum Sign { Minus = -1, Zero, Plus };
/* Minus = -1, Zero = 0, Plus = 1 */

enum SelfRef { E1, E2, E3 = 5, E4, E5 = E4 + 10, E6 };
/* E4 = 6, E5 = 16, E6 = 17 */
```

- Výčtový typ je (obvykle) kompatibilní s `int` i co do délky vnitřní reprezentace:

```
enum Sign s; /* totéž co int s; */
```

Výčtový typ jako třída

- V C++ je v zájmu bezpečnosti možno zavést výčtový typ jako třídu:

```
enum class Colors { red, blue, green };
```

- Hodnoty typu **Colors** nejsou kompatibliní s typem **int**, ani implicitně konvertované na **int** – jsou to prostě hodnoty typu **Colors**.
- Každá hodnota výčtové třídy se musí uvádět spolu s kvalifikátorem:

```
Colors mycolor;

mycolor = Colors::blue;
if (mycolor == Colors::green) mycolor = Colors::red;
```

- Hodnoty výčtových tříd mohou být reprezentovány různými základními typy, dle rozsahu výčtu. Např.:

```
enum class EyeColor : char { blue, green, brown };
```

- Pak **EyeColor** je typ se stejnou velikostí jako **char** (1 byte) (ale nikoliv kompatibilní s **char**).

Funkce

- Funkce obsahuje kód, který je opakovaně využit při každém volání.
- V jazyce C++ rozlišujeme mezi deklarací a definicí funkce.
- **Deklarace funkce** zahrnuje identifikátor funkce, typ výsledku a typy parametrů.
- **Definice funkce** je deklarace a implementace (tělo) funkce.
- Příklad deklarace:

```
long Power(long x, int y);
```

- Příklad definice:

```
long Power(long x, int y)
{
  long result = 1;
  while (y-- >= 0) result *= x;
  return result;
}
```

tělo funkce

Prototyp funkce

- Funkční prototyp (lépe funkční profil) se skládá z
  - typu výsledku,
  - počtu parametrů,
  - typů jednotlivých parametrů funkce.

```
int F(int k);           // F má prototyp int(int)
void G(long x, int y); // G má prototyp void(long, int)
```

- Názvy parametrů nejsou důležité pro volání, v deklaraci je můžeme vynechat.

```
char H(char, char);     // bez jmen parametrů
```

Volání funkce

- Syntaxe:

  F (X1, X2, … Xn)

  kde *F* je identifikátor funkce (nebo ukazatel na funkci) a *X1, … Xn* jsou výrazy tvořící argumenty volání.
- Závorky jsou třeba, i když se jedná o funkci bez parametrů.
- Pro každý argument se provádí
  - roztažení (promotion) z menšího číselného typu na větší, pokud je to třeba, např. **`char`** na **`int`**, **`float`** na **`double`**,
  - konverze (conversion) z většího číselného typu na menší, pokud je to třeba,
  - kontrola přípustnosti typu argumentu pro daný parametr.
- V C++ může existovat více funkcí stejného jména, musí být ale rozlišitelné pomocí počtu nebo typů parametrů (tzv. přetížení funkcí).
- V C existuje vždy pouze jedna funkce daného jména.

Příklady volání funkcí

```
long Power(long, int);
long l; int a, b; float f;
l = Power(l, 10);
a = Power(a + 3, b);
f = Power(f, 3);

void Swap(int *, int *);
int x, y;
Swap(&x, &y);

void CtiPole(int, int *);
int pole[10];
CtiPole(10, pole);
```

Příklad: rozlišení funkcí dle skutečných parametrů (C++)

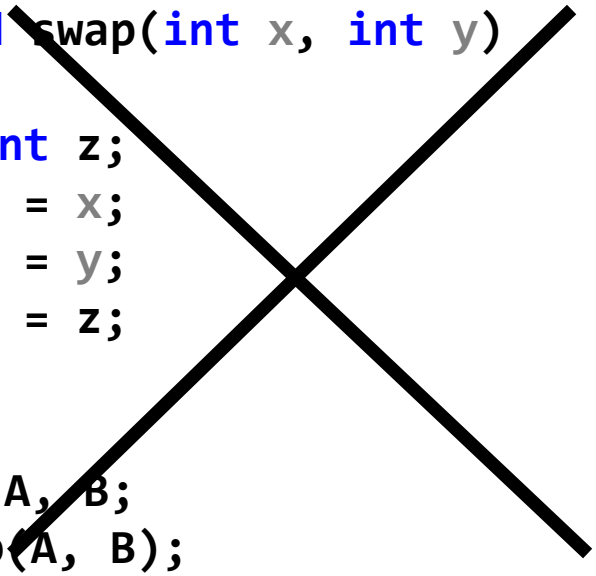
```
#include <iostream>

void test(char x) { std::cout << x << '\n'; return; }
void test(int x) { std::cout << x << '\n'; return; }
void test(float x) { std::cout << x << '\n'; return; }

int main(void) {
      test('a');
      test(17);
      test(2.3F);
      return 0;
}
```

Parametry funkce volané hodnotou

- Volání hodnotou znamená, že jako skutečné parametry můžeme použít libovolný výraz převeditelný na daný typ. Výraz se vyhodnotí a jeho hodnota se uloží do formálního parametru, který funguje jako lokální proměnná.
- Funkce s parametry volanými hodnotou vrací nejvýše jeden výsledek – funkční hodnotu (zpravidla přes zásobník). Pokud vrací **`void`** – nevrací nic (je to procedura).
- Pokud chceme, aby funkce vracela více hodnot, můžeme použít `std::tuple`, nebo využít globální proměnné, nebo použít jako parametry ukazatele, nebo použít parametry volané referencí (viz dále).
- Přes parametry typu ukazatel můžeme manipulovat s objekty mimo lokální prostor těla funkce. To může vyžadovat určitou disciplínu.

Příklad: funkce, která prohodí 2 buňky

```
void swap(int x, int y)
{
   int z;
   z = x;
   x = y;
   y = z;
}

int A, B;
swap(A, B);
```



Chybně

```
void swap(int *x, int *y)
{
   int z;
   z = *x;
   *x = *y;
   *y = z;
}

int A, B;
swap(&A, &B);
```

Správně

Parametry typu reference

- Standardně jsou parametry předávány hodnotou, tj. vyhodnotí se skutečný parametr a tato hodnota se uloží do odpovídajícího „formálního“ parametru a poté se funkce spočítá.
- Formální parametry v hlavičce funkce jsou vlastně další lokální proměnné, iniciované při volání funkce.
- Pokud chceme, aby funkce něco měnila v prostředí, kde je volána, můžeme jako parametr předat hodnotou ukazatel na daný objekt. Přes tento ukazatel může funkce modifikovat prostředí (proměnné).
- Jiná možnost je použít parametry typu reference (na objekt), kdy se nepředává hodnota objektu, ale reference na něj – jako by skutečný parametr nahradil parametr formální. Skutečný parametr pak ale musí být proměnná (přesněji – musí to být l-hodnota).

Příklad: Parametry typu reference

```
void mul_by_2(int& a, int& b, int& c) {
    a *= 2;
    b *= 2;
    c *= 2;
}

int main() {
    int x = 1, y = 3, z = 7;
    mul_by_2(x, y, z); // po provedeni plati
                       // x == 2, y == 6, z == 7
    mul_by_2(2, y, z); // toto se nezkompiluje,
                       // 2 není lvalue, ale rvalue
}
```

Příklad: swap pomocí parametrů typu reference

```
void swap(int &x, int &y)
{
   int z;
   z = x;
   x = y;
   y = z;
}

int A, B;
swap(A, B);
```

```
void swap(int *x, int *y)
{
   int z;
   z = *x;
   *x = *y;
   *y = z;
}

int A, B;
swap(&A, &B);
```

Reference jako proměnná

- Občas se hodí použít referenci jako proměnnou, například pokud budeme opakovaně přistupovat do pole na stejný index – ke stejnému prvku pole:

```
int pole[20];
int &pole5 = pole[5]; /* definice reference s inicializací –
                         zastupuje pole[5] */
pole5 = 1; // totéž jako pole[5] = 1; ale nepočítá se pole[5]
```

- Důležité je, že reference musí být inicializovaná již v místě definice a není možné později znovu určit nebo změnit, na kterou proměnnou reference odkazuje. To je podstatná změna oproti ukazatelům, která činí používání referencí o něco bezpečnější.

```
int *pole5; // definice bez inicializace - u reference nelze
pole5 = pole + 5; // inicializace
*pole5 = 1; // totéž jako pole[5] = 1;
pole5++; // změna ukazatele, u reference nelze
```

Reference jako návratová hodnota

- Referenci lze použít také jako návratovou hodnotu funkce. V definici funkce vrátíme nějakou l-hodnotu, která zůstane platná i po opuštění těla funkce (ne tedy například lokální proměnnou). Ve volajícím kódu lze návratovou hodnotu použít jako běžnou l-hodnotu, takže výsledek funkce lze použít i na levé straně přiřazení.

```
int data[10];

int& vektor(int index) {
   // Tady můžeme ošetřit meze polí.
   return data[index];
}

int main(void) {
   vektor(5) = 7;
   vektor(3) = vektor(5);
   return 0;
}
```

- Kdybychom se pokusili ve funkci **vektor** vrátit například číselnou konstantu, došlo by k chybě při překladu funkce **vektor**. Stejně tak by selhal překlad **main**, kdybychom návratový typ funkce **vektor** deklarovali jako běžný **int** a nikoli referenci.

Kopírování parametrů

- Příklad – spojení řetězců:

```
#include <string>
using namespace std;
string concatenate(string a, string b) {
        return a + b;
}
```

- Parametry jsou zde volané hodnotou, tj. skutečný řetězec dosazený za parametr a je zkopírován do pracovní lokální proměnné a. To samé platí pro b.
- U parametrů volaných referencí se místo toho pracuje s původním řetězcem. Výhodou je, že nedochází k potenciálně nákladným kopiím:

```
string concatenate(string& a, string& b) {
        return a + b;
}
```

- Protože funkce s parametry volanými referencí mohou modifikovat své parametry, je bezpečnější použít:

```
string concatenate(const string& a, const string& b) {
        return a + b;
}
```

Pořadí vyhodnocení parametrů

- Není normou jazyka definováno, implementace to může udělat tak, jak to vyjde efektivněji (pro procesory Intel zpravidla zprava doleva, pro procesory Sparc zleva doprava).
- Musíme programy psát tak, aby na tom nezáleželo – ve skutečných argumentech nepoužívat operace s vedlejšími efekty.

```
#include <cstdio>

void foo(int x, int y) {}

int main() {
   foo(std::printf("foo"), std::printf("bar"))
   return 0;
}
```

Ve Windows vytiskne:
barfoo
Na Linuxu:
foobar

Implicitní hodnoty parametrů

```
#include <iostream>

int divide(int a, int b = 2) { // b má implicitní hodnotu 2
   int r;
   r = a / b;
   return (r);
}

int main() {
   std::cout << divide(12) << '\n';
   std::cout << divide(20, 4) << '\n';
   return 0;
}
```

Výsledek:
6
5

Rekurzivní funkce

```
// výpočet faktoriálu
#include <iostream>

long factorial(long a) {
	if (a > 1)
		return (a * factorial(a - 1));
	else
		return 1;
}

int main() {
	long number = 9;
	std::cout << number << "! = " << factorial(number);
	return 0;
}
```

Jiný příklad rekurzivní funkce

```
void tower(int disks, char from, char to, char hlp) {
	if (disks <= 1) cout << "Move disk from " << from << " to "
			<< to << endl;
	else {
		tower(disks - 1, from, hlp, to);
		tower(1, from, to, hlp);
		tower(disks - 1, hlp, to, from);
	}
}

int main() {
	tower(3, 'A', 'B', 'C');
	system("pause");
	return 0;
}
```

```
Move disk from A to B
Move disk from A to C
Move disk from B to C
Move disk from A to B
Move disk from C to A
Move disk from C to B
Move disk from A to B
Pokračujte stisknutím libovolné klávesy...
```

Inline funkce

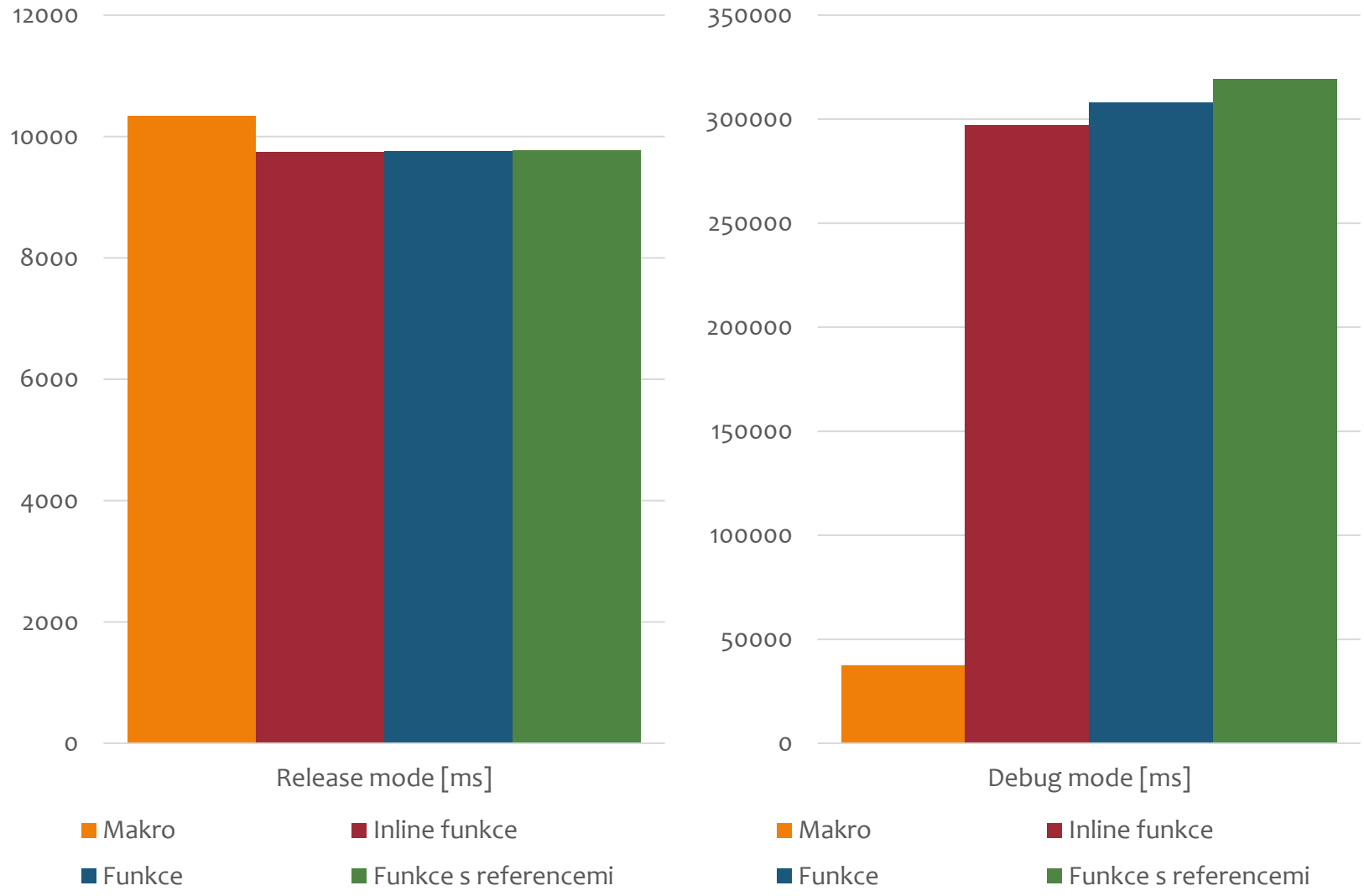
- Volání funkce stojí určitou režii. Je třeba uložit aktuální kontext, abychom byli schopni se do místa volání korektně vrátit. Pak je třeba uložit parametry a návratovou adresu na zásobník, a vygenerovat skok do podprogramu. Při návratu z funkce pak provést návrat zpět.
- Pokud není volání funkce složité, lze uvažovat o tom, že místo volání funkce se do místa volání vloží přímo její kód. To můžeme překladači doporučit formou tzv. **`inline`** funkce:

```
inline string concatenate(const string& a, const string& b) {
    return a + b;
}
```

Makro versus inline

```cpp
#include <chrono>
#include <iostream>
using namespace std;
using ll = long long;
using clk = chrono::steady_clock;

double tmdiff(chrono::time_point<clk> t) {
    return chrono::duration<double, milli>(clk::now() - t).count();
}

#define MAX(X,Y) ((X)>(Y)?(X):(Y))
#define POCET 10000000000

inline ll max1(ll x, ll y) { return x > y ? x : y; }
ll max2(ll x, ll y) { return x > y ? x : y; }
ll max3(const ll& x, const ll& y) { return x > y ? x : y; }

int main() {
    { ll z = 0; auto t = clk::now(); for (ll i = 1; i < POCET; i++) z = MAX(z, i);
    cout << "Jako makro: " << tmdiff(t) << " ms, " << z << endl; }
    { ll z = 0; auto t = clk::now(); for (ll i = 1; i < POCET; i++) z = max1(z, i);
    cout << "Jako inline funkce: " << tmdiff(t) << " ms, " << z << endl; }
    { ll z = 0; auto t = clk::now(); for (ll i = 1; i < POCET; i++) z = max2(z, i);
    cout << "Jako funkce: " << tmdiff(t) << " ms, " << z << endl; }
    { ll z = 0; auto t = clk::now(); for (ll i = 1; i < POCET; i++) z = max3(z, i);
    cout << "Jako funkce s referencemi: " << tmdiff(t) << " ms, " << z << endl; }
    cin.get();
}
```

Makro versus inline



Parametry programu

- Funkce **`main`** může být bez parametrů:

```
int main(void) { … }
```

- Funkce **`main`** může mít parametry:

```
int main(int pocet, char *slova[]) { … }
```

  - 1. parametr udává počet slov v příkazovém řádku (slova jsou oddělena mezerou)
  - 2. parametr je seznam slov

Příklad: při vyvolání programu copy.exe

```
>copy muj.txt tvuj.txt
```

dostane funkce **`main`** parametry:

```
pocet == 3
slova[0] == "copy"        slova[1] == "muj.txt"
slova[2] == "tvuj.txt"    slova[3] == NULL (0)
```

Parametry programu (pokr.)

Příklad: správné řešení programu copy.exe s parametry:

```
#include <iostream>

int main(int argc, char *argv[]) {
  if (argc != 3)
    std::cout <<
      "Chybne volani copy, spravne: copy vstup vystup\n";
  else
    std::cout <<
      "Spravne volani copy ve tvaru: copy " <<
            argv[1] << " " << argv[2] << "\n";

  return 0;
}
```

Návratová hodnota funkce `main`

- Pokud skončí hlavní program úspěšně, měla by být funkce `main` zakončena příkazem: `return 0;`
- Pokud funkce `main` skončí bez tohoto příkazu, předpokládá se úspěšný konec (tj. jakoby se provedl příkaz `return 0;`). To platí jen pro funkci `main` a případně funkci, která vrací hodnotu typu `void`. Někteří autoři nedoporučují implicitní `return 0;` jako špatnou praktiku.
- Pokud vrátí funkce `main` hodnotu `0` (ať implicitně, nebo explicitně), je to interpretováno jako úspěšný konec programu. Vrácená hodnota může být zpravidla prostředím dále využita.
- Jiné hodnoty než `0` mohou být interpretovány jako příznak chyby. Zaručené hodnoty jsou definovány v knihovně stdlib.h (cstdlib):

Hodnota	Popis
`0`	úspěšný konec
`EXIT_SUCCESS`	úspěšný konec
`EXIT_FAILURE`	neúspěšný konec, chyba

Konec