Praktické programování v C/C++

Úvod do programování v C++

Stanislav Vítek

Katedra radioelektroniky
Fakulta elektrotechnická
České vysoké učení v Praze

Přehled témat

- Část 1 – O předmětu
  - Organizace předmětu
  - Studijní výsledky
- Část 2 – Novinky v C++ oproti C
  - První program
  - Vstup a výstup
  - Reference
  - Implicitní parametry
  - Inline funkce
  - Přetěžování funkcí
  - Alokace paměti

I. O předmětu

Předmět a lidé

- Webové stránky předmětu - Moodle
  `https://moodle.fel.cvut.cz/course/view.php?id=3802`
- Přednášející
  - Ing. Stanislav Vítek, Ph.D.
    `http://mmtg.fel.cvut.cz/personal/vitek/`
- Cvičící
  - Ing. Stanislav Vítek, Ph.D.
  - Ing. Ondřej Nentvich

Cíle předmětu

- Motivace k programování
  - Programování je klíčová dovednost, která může hrát rozhodující roli na trhu práce
  - Velká většina studentů FEL programování využije během studia
- Aplikace získaných znalostí v praktických úlohách
  - Komunikace s embedded zařízením
  - Kommunikace s webovou službou
  - Desktopová aplikace s GUI
- Další zkušenosti s programováním
  - Programovací jazyk C++
  - Knihovna QT
  - Povědomí o objektovém programování

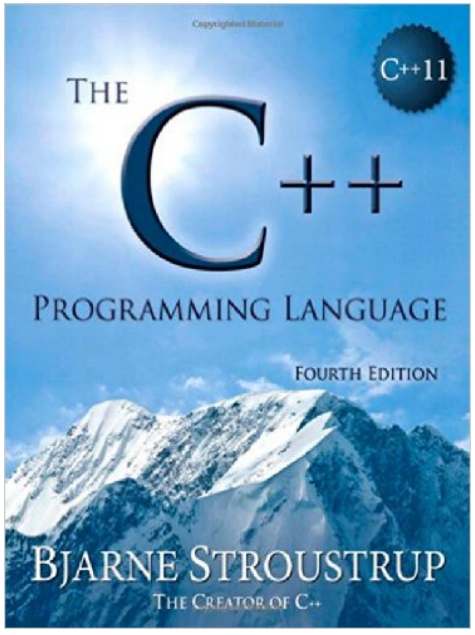
Organizace a hodnocení předmětu

- B2B99PPC – Praktické programování v C/C++
- Rozsah: 2p+2c; Zakončení: KZ; Kredity: 6;

- Průběžná práce v semestru – domácí úkoly a test
- Semestrální práce
- Započtový test

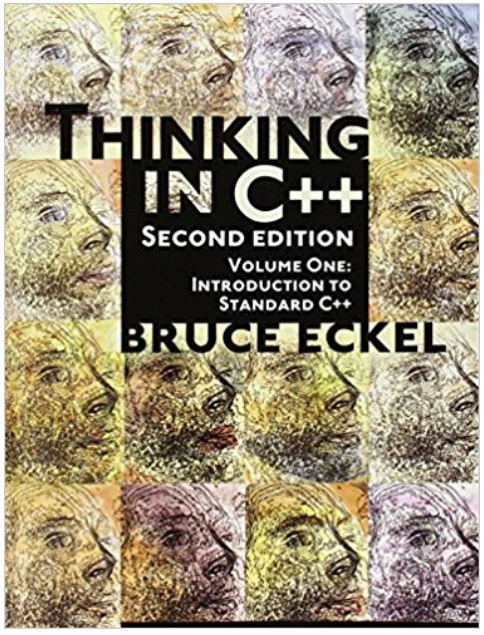
- Docházka na cvičení
  - Cvičení jsou povinná – možné dvě omluvené absence
  - Na cvičení je třeba se připravit, nejlépe návštěvou přednášky a studiem podkladů (příklady)

Zdroje a literatura



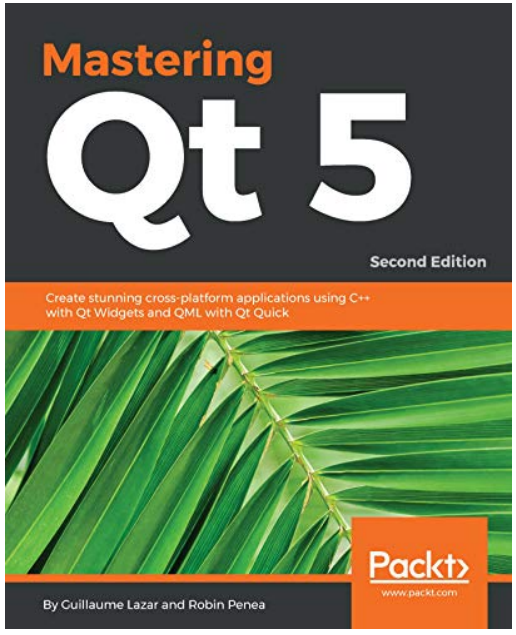
Bjarne Stroustrup
The C++ Programming Language
Addison-Wesley
2014

ISBN 978-0321563842



Bruce Eckel
Thinking in C++
Prentice Hall
2014

ISBN 978-0139798092



G. Lazar, R. Penea
Mastering QT 5
Packt Publishing
2016

ISBN 978-1788995399

Řešení problémů

- Obracejte se na svého cvičícího
- Pokud komunikujete elektronickou poštou (e-mail)
  - Pište vždy ze své fakultní adresy
  - Do předmětu zprávy uvádějte zkratku predmětu PPC
  - V případe zásadních problémů (napr. týkajících se zápočtu) uvádějte do Cc též přednášejícího

I. O předmětu

Organizace předmětu

Studijní výsledky

Přehled úkolů na cvičení

- Domácí úkoly
  1. HW01 – Vstup a výstup v C++
  2. HW02 – Třídy a objekty
  3. HW03 – Standardní šablony
  4. HW04 – Program v QT – osciloskop
  5. HW05 – Program v MBED – generátor
- Semestrální práce
  - Ucelené program, který vhodným způsobem zapadá do kontextu studia nebo navazuje na samostatnou tvůrčí práci studentů.
- Celkem lze získat
  - za domácí úlohy **40b**,
  - za semestrální práci **20b**.

Hodnocení

Zdroj bodů	Maximum	Nutné minimum
Domácí úkoly	35	30
Semestrální práce	20	
Test v semestru	10	–
Závěrečný test	35	15
Součet	100	

- Za práci v semestru je třeba získat nejméně 30 bodů
- Za domácí úkoly je možné získat body nejpozději do 23.5.2019 (poslední cvičení)
- Semestrální práce – možno vypracovat během prázdnin

Klasifikace

Klasifikace	Bodové rozmezí	Slovní hodnocení
A	≥ 90	výborně
B	$80 - 89$	velmi dobře
C	$70 - 79$	dobře
D	$60 - 69$	uspokojivě
E	$50 - 59$	dostatečně
F	< 50	nedostatečně

Přehled přednášek

1.	Informace o předmětu, úvod do programování v C++	19.2.	
2.	C99 (doc. Dobeš)	26.2.	
3.	Objektově orientované programování v C++	5.3.	HW01
4.	Přesná reálná a komplexní aritmetika	12.3.	
5.	Dědičnost, polymorfismus, přetížené operátory	19.3.	HW02
6.	Šablony funkcí a tříd v C++	26.3.	
7.	Knihovna standardních šablon STL	2.4.	HW03
8.	Programování v QT I.	9.4.	
9.	Programování v QT II.	16.4.	HW04
10.	Programování v QT III.	23.4.	HW05
11.	Multivláknové programování	30.4.	
12.	Komunikace mezi procesy	7.5.	
13.	Zápočtový test	21.5.	

II. Procedurální programování v C++

První program v C++

```
1  /*
2  * Hello world in C++
3  */
4  #include <iostream> // iostream nahrazuje stdio.h z C
5
6  using namespace std;
7
8  int main ( )
9  {
10   cout << "Hello World!" << endl;
11   return 0;
12 }
```

Jmenné prostory v C++

- Identifikátory v C++ se mohou odlišovat jmennými prostory
- Zápis `prostor::identifikátor` je v C++ úplným jménem proměnné

  Jmenný prostor identikátoru ze std. knihovny má jméno `std`
- Pro zlepšení čitelnosti kódu je možné použít direktivu

```
using namespace std;
```

- Uvedená konstrukce umožňuje v dalším zdrojovém textu vynechat prefix se jménem jmenného prostoru
- Zde se jedná konkrétně o jména `std::cout` a `std::endl`
  - `cout` (výstupní proud) nahrazuje výstupní soubor `stdout` z C
  - `endl` navíc volá členskou funkci `cout.flush()`, která provede fyzický výstup bufferu

Typ `bool`

- C++ přidává primitivní datový typ `bool` pro logické hodnoty

  V C lze použít stdbool.h nebo _Bool (C99)

- Literály typu `bool` jsou pouze dva:
  - true ($= 1$),
  - false ($= 0$).
- Pro další operace je typ `bool` kompatibilní s celočíselnými typy
- Zobrazení hodnot typu `bool` lze řídit **manipulátory**
  - `boolalpha`
  - `noboolalpha`

Typ bool

```
1  #include <iostream>
2
3  using namespace std;
4
5  int main ( ) {
6    bool a = true, b = false;
7    cout << "a=" << a << ", b=" << b << endl;
8    cout << boolalpha << "a=" << a << ", b=" << b << endl;
9    cout << "!a=" << !a << ", !b=" << !b << endl;
10   cout << "a||b=" << (a||b) << ", a&&b=" << (a&&b) << endl;
11   cout << "a+b = " << a+b << endl;
12   a = 10; b = 0;
13   cout << "a = " << a << ", b = " << b << endl;
14   cout << "a||b=" << (a||b) << ", a&&b=" << (a&&b) << endl;
15   cout << "a+b=" << a+b << endl;
16   return 0;
17 }
```

Struktury

- V C++ je identifikátor struktury (structure tag) zároveň jménem typu, takže není třeba používat `struct` nebo `typedef`

```
// C #1:
struct List { int val; struct List *next; };
struct List *head;
// C #2:
typedef struct List {
  int val; struct List *next;
} LIST;
LIST *head;
// C++:
struct LIST { int val; LIST *next; };
LIST *head;
```

II. Procedurální programování v C++

Vstup a výstup v C

```
#include <stdio.h>

int main ( void )
{
  int x;
  printf ("Napis cislo:\n");
  scanf ("%d", &x);
  printf ("Vstup byl: %d\n", x);
  return 0;
}
```

Co se stane při změně deklarace `x` na `float`?

Vstup a výstup v C++

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main ( )
{
  int x;
  cout << "Napis cislo:" << endl;
  cin >> x;
  cout << "Vstup byl: " << x << endl;
  return 0;
}
```

Co se stane při změně deklarace `x` na `float`?

Vstup a výstup v C++

- Formátovaný vstup/výstup v C spoléhá na správný formátovací řetězec.
- Každá neshoda konverze ve formátovacím řetězci s typem parametru může způsobit chybu (pád programu).
- Proudy v C++ jsou bezpečné, neboť není třeba žádný formátovací řetězec, způsob konverze je vybrán kompilátorem podle typu parametru.
- Proudy v C++ mohou být snadno modifikovány:
  - vstup/výstup nových (uživatelských) datových typů,
  - různé zdroje/cíle proudů (soubory, buffery v paměti, sockets, ...
- Standardní proudy:
  - `cout` – standardní výstup (stdout),
  - `cin` – standardní vstup (stdin),
  - `cerr` – standardní chybový výstup (stderr).

Výstupní manipulátory

- Řídí formátování výstupu, deklarovány v `<iomanip>`:
  - `endl` – nový řádek + flush,
  - `flush` – synchronizace bufferu proudu s fyzickým výstupem,
  - `setw (x)` – šířka výstupního pole,
  - `setfill (c)` – výplňkový znak,
  - `right/left` – zarovnání doprava / doleva,
  - `setprecision ( x )` – počet desetinných míst,
  - `fixed/scientific` – formát bez / s exponentem (semilog),
  - `hex/oct/dec` – základ číselné soustavy 16, 8, 10,
  - `showbase/noshowbase` – vy/nevy-pisovat 0x - hex, resp. 0 - oct,
  - `boolalpha/noboolalpha` – true, false / 1, 0.

Příklad

```
int x = 10;
cout << "dekadicky " << x << endl;
cout << "sirka 10 znaku " << setw ( 10 ) << x << endl;
cout << "sestnactkove " << hex << x << endl;
cout << "opet dekadicky " << dec << x << endl;
```

Vstupní manipulátory

- řídí formátování vstupu:

  `ws` – extrahuje bílé znaky,
  `hex/oct/dec` – základ číselné soustavy 16, 8, 10,
  `skipws/noskipws` – přeskakování bílých znaků při dalších operacích,
  `boolalpha/noboolalpha` – vstup true, false / 1, 0,
  `setw (n)` – omezení délky načítaného řetězce.

II. Procedurální programování v C++

Reference – motivace

- Práce s ukazateli v C může být nepohodlná
  - potenciální nebezpečí přepisu paměti

    Lze řešit pomocí konstatních ukazatelů.
  - komplikovaný zápis

```
void swapC (int *px, int *py) {
  int tmp = *px;
  *px = *py;
  *py = tmp;
}
...
int a, b;
swapC (&a, &b);
```

Reference – motivace

```
int readResize (int ** data, int * nr, int * max) {
  int x, res = scanf ("%d", &x);
  if (res != 1) return res;
  if (*nr >= *max) {
    *max += 100;
    *data = (int*) realloc (*data, *max * sizeof (**data));
  }
  (*data)[(*nr)++] = x; // !!!
  return 1;
}
...
int dataNr = 0, dataMax = 0, *data = NULL;
while (readResize (&data, &dataNr, &dataMax) == 1) {
...
}
```

Reference – motivace

- Nepřehlednost ukázkového kódu je dána mnoha rolemi, které má v C programech ukazatel:
  - dynamická alokace paměti,
  - realizace výstupních a vstupně-výstupních parametrů funkce,
  - předávání pole,
  - předávání vstupního parametru bez jeho kopírování

  Například velké struktury.
- C programátor pomocí ukazatelů říká, jak se má kód přeložit do strojového kódu. Zápis ale neříká, co má ukazatel za roli.
- Reference v C++ přebírá některé role ukazatele, kde je ukazatel příliš obecný a kde zápis pomocí ukazatelů pouze prodlužuje kód.
- Reference se v C++ použije zejména pro:
  - realizaci výstupních a vstupně-výstupních parametrů funkce a
  - předávání vstupního parametru bez jeho kopírování.

Reference – motivace

- Ukázkový kód přepsaný s referencemi:

```
void swapCPP ( int & x, int & y ) {
  int tmp = x;
  x = y;
  y = tmp;
}
...
int a, b;
swapCPP ( a, b );
```

Reference – motivace

- Ukázkový kód přepsaný s referencemi:

```
int readResize (int *& data, int &nr, int &max) {
  int x, res = scanf ( "%d", &x );
  if (res != 1) return res;
  if (nr >= max) {
    max += 100;
    data = (int*) realloc ( data, max * sizeof (*data) );
  }
  data[nr++] = x;
  return 1;
}
...
int dataNr = 0, dataMax = 0, *data = NULL;
while ( readResize ( data, dataNr, dataMax ) == 1 ) {
...
}
```

Reference

- C++ reference je prostředek, kterým lze vytvořit odkaz na již existující proměnnou:
  - odkaz má všechny vlastnosti původní proměnné,
  - reference musí být při vytvoření inicializovaná proměnnou, na kterou odkazuje,
  - odkazovanou proměnnou nelze po dobu existence reference změnit,
  - reference se nejčastěji vytváří a inicializuje při volání funkce (parametry funkce v ukázce).
- Jak kompilátor implementuje referenci?
  - vnitřní implementace reference je starost autorů kompilátoru,
  - kompilátor referenci může interně implementovat jako ukazatel nebo nijak (pouhým proházením proměnných – například pokud by v ukázce provedl překlad funkce inline).

Reference

- Proměnná typu reference může existovat i uvnitř funkce, má však jen omezené použití:

```
void foo ( ) {
  int x;
  int &y = x; // deklarace + inicializace
  // x a y jsou dve ruzna jmena pro tu samou promennou
  cin >> x;
  cout << y;
  // zmena x je viditelna i v y
  // referenci by kompilator nejspise optimalizoval:
  // identifikator y by nahradil x
}
```

Reference

- Reference uvnitř funkce pro zpřehlednění zápisu:

```
struct TCoord { int m_X, m_Y; };

void foo ( TCoord ** matrix, ... ) {
  for ( int i = 0; i < ...; i ++ )
    for ( int j = 0; j < ...; j ++ ) {
      const TCoord &x = matrix[i][j];
      if ( sqrt ( x . m_X * x . m_X +
        x . m_Y * x . m_Y ) > ... ) ...

    // FIXME
  }
}
```

Konstanty

- Primitivní typy s const kvalifikátorem jsou v C++ konstanty.
- Na rozdíl od C maker se C++ konstanty řídí pravidly pro rozsah platnosti. Je tedy možno deklarovat konstanty lokálně v modulu, funkci nebo třídě.

```
const int MAX = 100;
int array[MAX]; // ok

int main(void) {
  int *p;
  const int *q;

  MAX = 10; // error
  p = &MAX; // error
  q = &MAX; // ok
  return 0;
}
```

II. Procedurální programování v C++

Implicitní hodnoty parametrů

- V deklaraci funkce může být uvedena implicitní hodnota parametru.
- Odpovídající parametr může být při volání funkce vynechán.
- Protože v C/C++ jsou poziční parametry, lze implicitní parametry deklarovat jen "na konci" seznamu parametrů.

```
void print ( int x, int y = 0, int z = 0 ) {
  cout << "x=" << x << endl;
  cout << "y=" << y << endl;
  cout << "z=" << z << endl;
}
int main( void ) {
  print ( 10, 20, 30 ); // 10, 20, 30
  print ( 10, 20 ); // 10, 20, 0
  print ( 10 ); // 10, 0, 0
  return 0;
}
```

Implicitní hodnoty parametrů

- Nedovolené použití implicitních parametrů:

```
void f ( int x = 1, int y ); // error
void g ( int x, int y = 10 );
void g ( int x );
// Pretizena funkce g
// Pretizen funkce povoleno, ale ne timto zpusobem
// Neexistuje zpusob, jak zavolat druhou funkci
g ( 20 ); // viceznacne
g ( 10, 40 ); // ok
```

II. Procedurální programování v C++

Inline funkce

- Volání funkce má jistou režii:
  - příprava rámce zásobníku,
  - zneplatnění cache paměti procesorem,
  - uložení/obnovení registrů procesoru, ...
- Tuto režii zpravidla nemusíme uvažovat. Významněji se uplatní pouze pro často volané triviální funkce.
- C++ umožňuje vytvořit funkce, které se nevolají. Místo toho kompilátor v místě volání vloží kód takové funkce. To má dvě výhody:
  - zdrojový kód není opakován (vytváření opakovaného kódu je zajišťováno kompilátorem na úrovni strojového kódu),
  - eliminuje se režie spojená s voláním podprogramu.
- Inline funkce se zavádějí pomocí klíčového slova `inline`.
- Kompilátor nemusí uposlechnout inline deklaraci:
  - funkce je příliš dlouhá,
  - funkce je rekurzivní,
  - nastaven příliš nízký stupeň optimalizace.

Inline funkce

- Inline funkce jsou bezpečnější než makra

  Dají se lépe debuggovat – menší náchylnost k chybám.

```
inline int max ( int x, int y ) {
  return x>=y ? x : y;
}

#define MAX(x,y) ((x)>=(y) ? (x) : (y))

int main ( ) {
  int a = 10;
  cout << max ( a++, 4 ) << endl; // 10
  cout << a << endl;              // 11
  cout << MAX ( a++, 4 ) << endl; // 12
  cout << a << endl;              // 13
  return 0;
}
```

II. Procedurální programování v C++

Přetěžování funkcí

- Počet a typy parametrů mohou být využity pro odlišení funkcí stejného jména.

```
int cube ( int x ) {
  return x * x * x;
}

double cube ( double x ) {
  return x * x * x;
}

int main ( void ) {
  int a = 5;
  float b = 4.2;
  cout << a << "^3 = " << cube ( a ) << endl;
  cout << b << "^3 = " << cube ( b ) << endl;
  return 0;
}
```

Přetěžování funkcí

- Při volání přetížené funkce se kompilátor rozhoduje podle nejlepší shody parametrů.
- Porovnání parametrů má čtyři úrovně:

  přesná shoda – typy skutečných a formálních parametrů jsou stejné,

  roztažení (promotion) – zachová rozsah i přesnost:

  char $\rightarrow$ int, enum $\rightarrow$ int, enum $\rightarrow$ int, float $\rightarrow$ double

  standardní konverze – přesnost či rozsah mohou být ztraceny:

  int $\rightarrow$ double, double $\rightarrow$ int, unsigned $\rightarrow$ int, int $\rightarrow$ long, ...

  uživatelská konverze – konverze zavedená uživatelem definovaným konstruktorem nebo přetíženým operátorem přetypování (cast).

Přetěžování funkcí

- Pro výběr přetížené funkce se porovnávají všichni kandidáti:
  - kandidáty jsou všechny funkce daného jména volatelné s daným počtem parametrů.
- Vítězná funkce musí mít porovnávací kategorii stejnou nebo lepší, než ostatní kandidáti. To musí platit pro všechny parametry.
- Pokud neexistuje právě jeden vítěz (funkce s nejlepší shodou ve všech parametrech), porovnávací algoritmus ohlásí chybu.
- Takto nastavená pravidla jsou striktní (vítěz musí mít nejlepší konverzi ve všech parametrech), přesto dokáží překvapit.
- Je rozumné se vyhnout nadměrnému přetěžování funkcí.

II. Procedurální programování v C++

Dynamická alokace paměti

- Dynamickou alokaci provádí operátor `new`:
  - výsledek operace `new` má správný typ, nemusí se přetypovávat (cast),
  - velikost je dána v počtu prvků (nikoli v bajtech),
  - pro objektové datové typy volá operátor new konstruktor.
- Paměť alokovaná použitím operátoru `new` musí být uvolněna pomocí operátoru `delete`.
- Nelze mixovat C a C++ alokaci a uvolňování paměti:
  - blok alokovaný použitím `malloc` musí být uvolněn použitím `free`,
  - objekt alokovaný použitím `new` musí být uvolněn použitím `delete`,
  - pole alokované použitím `new []` musí být uvolněno použitím `delete []`.

Dynamická alokace paměti

```
int *p = new int; // alokuje promennou typu int
struct S {
  int a;
  char b;
};
S *q = new S; // alokuje strukturu typu S
// Pozn.:  C++ zde nevyzaduje klicove slovo struct
int *a = new int[1000]; // alokuje pole
delete p; // uvolnuje jednoduchou promennou
delete q;
delete [] a; // uvolnuje pole, bez [] je to chybne
a = p + 1;
delete a; // chybne, uvolnit lze jen to,
// co bylo vytvoreno pomoci new
```