

Základy programování v C

Jan Faigl

Katedra počítačů

Fakulta elektrotechnická

České vysoké učení technické v Praze

Přednáška 02

B0B36PRP – Procedurální programování

Přehled témat

- Část 1 – Základy programování v C
 - Program v C
 - Proměnné a jejich hodnoty
 - Základní číselné typy
 - Výrazy a operátory
 - Formátovaný vstup a výstup
- Část 2 – Zadání 1. domácího úkolu (HW01)

S. G. Kochan: kapitoly 2, 3

Část I

Část 1 – Základy programování v C

Jazyk C

- Nízko-úrovňový programovací jazyk
- Systémový programovací jazyk (operační systém)

Jazyk pro vestavné (embedded) systémy — MCU, křížová (cross) kompilace

- Téměř vše nechává na uživateli (programátorovi)

Inicializace proměnných, uvolňování dynamické paměti

- Má blízko k využití hardwarových zdrojů výpočetního systému

Přímé volání služeb OS, přímý zápis do registrů a portů.

- Klíčové pro správné fungování programu je zacházení s pamětí

Cílem kurzu PRP je naučit se základním principům, které lze následně generalizovat též pro jiné programovací jazyky. Pochopení těchto principů je klíčem k efektivnímu psaní efektivních programů.

Je výhodné mít překlad programu plně pod kontrolou.

Přestože to může z počátku vypadat složitě, jsou základní principy relativně jednoduché. I proto je výhodné používat základní nástroje pro překlad programů a po jejich osvojení využít komplexnější vývojové prostředí.

Zápis programu

- Zdrojový kód programu v jazyce C se zapisuje do textových souborů
 - **Zdrojové soubory** zpravidla pojmenované s koncovkou **.c**
 - **Hlavičkové soubory** s koncovkou **.h**
- Kompilací zdrojových souborů překladačem do binární podoby vznikají objektové soubory **.o**
- Z objektových souborů se sestavuje výsledný program
- Příklad zápisu jednoduchého programu:

```
1  #include <stdio.h>
2
3  int main(void)
4  {
5      printf("I like BOB36PRP!\n");
6
7      return 0;
8  }
```

Překlad (kompilace) a spuštění programu

- Zdrojový soubor `program.c` přeložíme do spustitelné podoby kompilátorem např. `clang` nebo `gcc`

```
clang program.c
```

- Vznikne soubor `a.out`, který můžeme spustit např.

```
./a.out
```

Alternativně pouze jako `a.out` pokud je aktuální pracovní adresář nastaven v prohledávané cestě spustitelných souborů

- Program po spuštění vypíše text uvedený jako argument `printf()`

```
./a.out
```

```
I like B0B36PRP!
```

- Pokud nechce psát `./a.out` ale raději jen `a.out` lze přidat aktuální pracovní adresář do cest(y) definované proměnnou prostředí `PATH`

```
export PATH="$PATH: 'pwd' "
```

Pracovních adresářů můžete mít více—používejte obezřetně.

- Příkaz `pwd` vytiskne aktuální pracovní adresář, více viz `man pwd`

Ano jde to, ale není dobrý nápad!

Důležité je mít povědomí, že existuje něco jako proměnná prostředí `PATH`

Struktura zdrojového souboru

- Komentovaný zdrojový soubor program.c

```
1  /* komentar zapisujeme do dvojice vyhrazenych znaku */
2  // Nebo v C99 jako jednoradkovy
3  #include <stdio.h> /* vlozeni hlavickoveho souboru standardni knihovny
   stdio.h */
4
5  int main(void) // zjednodusena hlavicka funkce main()
6  { // hlavni funkce program main()
7    printf("I like BOB36PRP!\n"); /* volani funkce printf() z knihovny
   stdio.h pro tisk textoveho retezce na standardni vystup. Znak \n
   definuje novy radek (odradkovani). */
8
9    return 0; /* ukonceni funkce a predani navratove hodnoty 0
   operacnimu systemu */
10 }
```

Zdrojové soubory

Proč psát do dvou nebo více souborů?

- Rozdělení na zdrojové a hlavičkové soubory umožňuje rozlišit **deklaraci** a **definici**, především však podporuje
 - **Organizaci** zdrojových kódů v adresářové struktuře souborů
 - **Modularitu**
 - Hlavičkový soubor obsahuje popis co modul nabízí, tj. popis (seznam) funkcí a jejich parametrů bez konkrétní implementace (**deklarace funkcí**)
 - **Znovupoužitelnost**
 - Pro využití binární knihovny potřebuje znát její „rozhraní“, které je deklarované v hlavičkovém souboru

Zatím nemusí být výhody zřejmé, ale budou. V úlohách HW08 a HW 10!

Překlad a sestavení programu

- Uvedený příklad slučuje jednotlivé kroky překladu a sestavení programu do volání jediného příkazu (`clang` nebo `gcc`). Překlad se však skládá ze tří částí, které lze provést individuálně

1. Textové předzpracování **preprocesorem**, který má vlastní makro jazyk (příkazy uvozeny znakem `#`)

Všechny odkazované hlavičkové soubory se vloží do jediného zdrojového souboru

2. Vlastní překlad zdrojového souboru do objektového souboru

Zpravidla jsou jména souborů zakončena příponou `.o`

`clang -c program.c -o program.o`

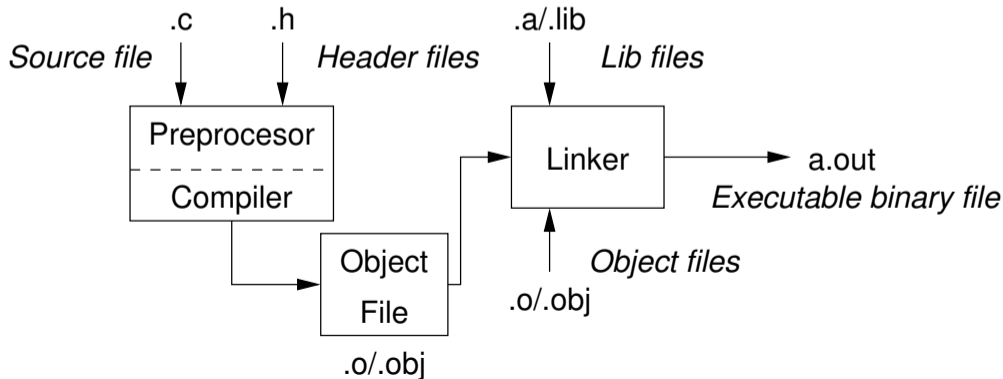
Příkaz kombinuje volání preprocesoru a kompilátoru.

3. Spustitelný soubor se sestaví z příslušných dílčích objektových souborů a odkazovaných knihoven, tzv. „linkováním“ (**linker**), např.

`clang program.o -o program`

Schéma překladač a sestavení programu

- Vývoj programu se skládá z editace zdrojových souborů (.c a .h); *Lidsky čitelných*
- kompilace dílčích zdrojových souborů (.c) do objektových souborů (.o nebo .obj) ; *Strojově čitelných*
- linkování přeložených souborů do spustitelného programu;
- spuštění a ladění aplikace a opětovné editace zdrojových souborů.



Části překladač a sestavení programu

- **preprocessor** – umožňuje definovat makra a tím přizpůsobit překlad aplikace kompilačnímu prostředí

Výstupem je textový („zdrojový“) soubor.

- **compiler (kompilátor)** – Překládá zdrojový (textový) soubor do strojově čitelné (a spustitelné) podoby

Nativní (strojový) kód platformy, bytecode, případně assembler

- **linker (sestavovací program)** – sestavuje program z objektových souborů do podoby výsledné aplikace

Stále může odkazovat na knihovní funkce (dynamické knihovny linkované při spuštění programu), může též obsahovat volání OS (knihovny).

Linkerem také vytváříme knihovny a dynamicky linkované knihovny.

- Dílčí části **preprocessor**, **compiler**, **linker** jsou zpravidla „jediný“ program, který se volá s příslušnými parametry

Překladače jazyka C

- V rámci předmětu PRP budeme používat především překladače z rodin:

- `gcc` – GNU Compiler Collection

<https://gcc.gnu.org>

- `clang` – C language family frontend for LLVM

<http://clang.llvm.org>

Pro win platformy pak odvozená prostředí [cygwin](https://www.cygwin.com/) <https://www.cygwin.com/> nebo [MinGW](http://www.mingw.org/) <http://www.mingw.org/>*

- Základní použití (přepínače a argumenty) je u obou překladačů stejné

clang je kompatibilní s gcc

- Příklad použití

- compile: `gcc -c program.c -o program.o`
- link: `gcc program.o -o program`

Příklad součtu dvou hodnot

```
1  #include <stdio.h>
2
3  int main(void)
4  {
5      int sum; /* definice lokální proměnné typu int */
6
7      sum = 100 + 43; /* hodnota výrazu se uloží do sum */
8      printf("The sum of 100 and 43 is %i\n", sum);
9      /* %i formátovací příkaz pro tisk celého čísla */
10     return 0;
11 }
```

- Proměnná `sum` typu `int` reprezentuje celé číslo, jehož hodnota je uložena v paměti
- `sum` je námi zvolené symbolické jméno místa v paměti, kde je uložena celočíselná hodnota (typu `int`)

Příklad součtu hodnot dvou proměnných

```
1  #include <stdio.h>
2
3  int main(void)
4  {
5      int var1;
6      int var2 = 10; /* inicializace hodnoty promenne */
7      int sum;
8
9      var1 = 13;
10
11     sum = var1 + var2;
12
13     printf("The sum of %i and %i is %i\n", var1, var2, sum);
14
15     return 0;
16 }
```

- Proměnné var1, var2 a sum reprezentují tři různá místa v paměti (automaticky přidělené), ve kterých jsou uloženy tři celočíselné hodnoty

Základní číselné typy

■ Celočíselné typy – `int`, `long`, `short`, `char`

`char` – celé číslo v rozsahu jednoho bajtu nebo také znak

- Velikost paměti alokované příslušnou (celo)číselnou proměnnou se může lišit dle architektury počítače nebo překladače

Typ `int` má zpravidla velikost 4 bajty a to i na 64-bitových systémech

- Aktuální velikost paměťové reprezentace lze zjistit operátorem `sizeof()`, kde argumentem je jméno typu nebo proměnné.

```
int i;
printf("%lu\n", sizeof(int));
printf("ui size: %lu\n", sizeof(i));
```

`lec02/types.c`

■ Neceločíselné typy – `float`, `double`

Jsou dané implementací, většinou dle standardu IEEE-754-1985

- `float` – 32-bit IEEE 754
- `double` – 64-bit IEEE 754

http://www.tutorialspoint.com/cprogramming/c_data_types.htm

Znaménkové a neznaménkové celočíselné typy

- Celočíselné typy kromě počtu bajtů rozlišujeme na

- **signed** – **znaménkový** (základní)
- **unsigned** – **neznaménkový**

Proměnná neznaménkového typu nemůže zobrazit záporné číslo

- Příklad (1 byte):

`unsigned char`: 0 až 255

`signed char`: -128 až 127

```
1 unsigned char uc = 127;
2 char su = 127;
3
4 printf("The value of uc=%i and su=%i\n", uc, su);
5 uc = uc + 2;
6 su = su + 2;
7 printf("The value of uc=%i and su=%i\n", uc, su);
```

`lec02/signed_unsigned_char.c`

Znak – char

- Znak je typ `char`

- Znak reprezentuje celé číslo (byte)

Kódování znaků (grafických symbolů), např. ASCII – American Standard Code for Information Interchange.

- Hodnotu znaku lze zapsat jako tzv. znakovou konstantu, např. `'a'`.

```
1 char c = 'a';  
2  
3 printf("The value is %i or as char '%c'\n", c, c);
```

`lec02/char.c`

```
clang char.c && ./a.out  
The value is 97 or as char 'a'
```

- Pro řízení výstupních zařízení jsou definovány řídicí znaky

Tzv. *escape sequences*

- `\t` – tabulátor (tabular), `\n` – nový řádek (newline),
- `\a` – pípnutí (beep), `\b` – backspace, `\r` – carriage return,
- `\f` – form feed, `\v` – vertical space

Logický datový typ (Boolean) – `_Bool`

- Ve verzi **C99** je zaveden logický datový typ `_Bool`

```
_Bool logic_variable;
```

- Jako hodnota `true` je libovolná hodnota typu `int` různá od 0
- Dále můžeme využít hlavičkového souboru `<stdbool.h>`, kde je definován typ `bool` a hodnoty `true` a `false`

```
#define false 0
#define true 1

#define bool _Bool
```

- V původním (ANSI) C explicitní datový typ pro logickou hodnotu není definován.
 - Můžeme však použít podobnou definici jako v `<stdbool.h>`

```
#define FALSE 0
#define TRUE 1
```

Rozsahy celočíselných typů

- Rozsahy celočíselných typů v C nejsou dány normou, ale implementací

Mohou se lišit implementací a prostředím 16 bitů vs 64 bitů

- Norma garantuje, že pro rozsahy typů platí

- `short` \leq `int` \leq `long`

- `unsigned short` \leq `unsigned` \leq `unsigned long`

- Pokud chceme zajistit definovanou velikost můžeme použít definované typy například v hlavičkovém souboru `<stdint.h>`

IEEE Std 1003.1-2001

`int8_t`

`uint8_t`

`int16_t`

`uint16_t`

`int32_t`

`uint32_t`

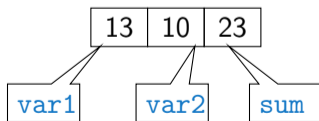
`lec02/inttypes.c`

<http://pubs.opengroup.org/onlinepubs/009695399/basedefs/stdint.h.html>

Přiřazení, proměnné a paměť – Vizualizace unsigned char

```
1 unsigned char var1;  
2 unsigned char var2;  
3 unsigned char sum;  
4  
5 var1 = 13;  
6 var2 = 10;  
7  
8 sum = var1 + var2;
```

- Každá z proměnných alokuje právě 1 byte
- Obsah paměti není po alokaci definován
Undefined behavior
- Jméno proměnné „odkazuje“ na paměťové místo
- Hodnota proměnné je obsah paměťového místa



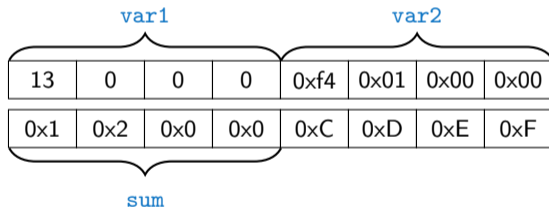
Přiřazení, proměnné a paměť – Vizualizace int

```

1 int var1;
2 int var2;
3 int sum;
4
5 // 00 00 00 13
6 var1 = 13;
7
8 // x00 x00 x01 xF4
9 var2 = 500;
10
11 sum = var1 + var2;

```

- Proměnné typu `int` alokují 4 bajty
Zjistit velikost můžeme operátorem `sizeof(int)`
- Obsah paměti není po alokaci definován



500 (dec) je 0x01F4 (hex)

513 (dec) je 0x0201 (hex)

*V případě architektury Intel x86 a x86-64 jsou hodnoty uloženy v pořadí **little-endian***

Výrazy

- **Výraz** předepisuje výpočet hodnoty určitého vstupu
- Struktura výrazu obsahuje **operandy**, **operátory** a **závorky**
- Výraz může obsahovat
 - literály
 - unární a binární operátory
 - proměnné
 - volání funkcí
 - konstanty
 - závorky
- Pořadí operací předepsaných výrazem je dáno **prioritou** a **asociativitou** operátorů.

Příklad

```
10 + x * y    // pořadí vyhodnocení 10 + (x * y)
10 + x + y    // pořadí vyhodnocení (10 + x) + y
```

** má vyšší prioritu než +
+ je asociativní zleva*

Základní rozdělení operátorů

- Operátory jsou vyhrazené znaky (nebo posloupnost znaků) pro zápis výrazů
- Můžeme rozlišit čtyři základní typy binárních operátorů
 - **Aritmetické** operátory – sčítání, odčítání, násobení, dělení
 - **Relační** operátory – porovnání hodnot (menší, větší, ...)
 - **Logické** operátory – logický součet a součin
 - **Operátor přiřazení** - na levé straně operátoru `=` je proměnná
- Unární operátory
 - indikující kladnou/zápornou hodnotu: `+` a `-`
operátor – modifikuje znaménko výrazu za ním
 - modifikující proměnou: `++` a `--`
 - logický operátor doplněk: `!`
 - operátor přetypování: `(jméno typu)`
- Ternární operátor – podmíněné přiřazení hodnoty

Proměnné, operátor přiřazení a příkaz přiřazení

- Proměnné definujeme uvedením typu a jména proměnné
 - Jména proměnných volíme malá písmena
 - Víceslovná jména zapisujeme s podtržítkem `_`
- Proměnné definujeme na samostatném řádku

Nebo volíme `CamelCase`

```
int n;  
int number_of_items;
```

- Přiřazení je nastavení hodnoty proměnné, tj. uložení definované hodnoty na místo v paměti, kterou proměnná reprezentuje
- Tvar **přiřazovacího operátoru**

$\langle \text{proměnná} \rangle = \langle \text{výraz} \rangle$

Výraz je literál, proměnná, volání funkce, ...

- **Příkaz přiřazení** se skládá z operátoru přiřazení `=` a ;
 - Levá strana přiřazení musí být **l-value – location-value, left-value**
Tj. musí reprezentovat paměťové místo pro uložení výsledku.
 - Přiřazení je výraz a můžeme jej použít všude, kde je dovolen výraz příslušného typu

Základní aritmetické výrazy

- Pro operandy číselných typů `int` a `double` jsou definovány operátory

- unární operátor změna znaménka `-`
- binární sčítání `+` a odčítání `-`
- binární násobení `*` a dělení `/`

Ale také pro `char`, `short`, `float`

- Pro operandy celočíselných typů pak dále

- binární zbytek po dělení `%`

- Pro oba operandy stejného typu je výsledek aritmetické operace stejného typu

- V případě kombinace typů `int` a `double`, se `int` převede na `double` a výsledek je hodnota typu `double`.

Implicitní typová konverze

- Dělení operandů typu `int` je celá část podílu

Např. $7/3$ je 2 a $-7/3$ je -2

- Pro zbytek po dělení platí $x\%y = x - (x/y) * y$

Např. $7 \% 3$ je 1

$-7 \% 3$ je -1

$7 \% -3$ je 1

$-7 \% -3$ je -1

*Pro záporné operandy je v C99 výsledek celočíselného dělení blíže 0, platí $(a/b)*b + a\%b = a$.*

Pro starší verze C závisí výsledek na překladači.

Další aritmetické operátory příště.

Příklad – Aritmetické operátory 1/2

```
1  int a = 10;
2  int b = 3;
3  int c = 4;
4  int d = 5;
5  int result;
6
7  result = a - b; // rozdíl
8  printf("a - b = %i\n", result);
9
10 result = a * b; // násobení
11 printf("a * b = %i\n", result);
12
13 result = a / b; // celocíselné dělení
14 printf("a / b = %i\n", result);
15
16 result = a + b * c; // priorita operatoru
17 printf("a + b * c = %i\n", result);
18
19 printf("a * b + c * d = %i\n", a * b + c * d);           // -> 50
20 printf("(a * b) + (c * d) = %i\n", (a * b) + (c * d)); // -> 50
21 printf("a * (b + c) * d = %i\n", a * (b + c) * d);     // -> 350
```

lec02/arithmetic_operators.c

Příklad – Aritmetické operátory 2/2

```
1  #include <stdio.h>
2
3  int main(void)
4  {
5      int x1 = 1;
6      double y1 = 2.2357;
7      float x2 = 2.5343f;
8      double y2 = 2;
9
10     printf("P1 = (%i, %f)\n", x1, y1);
11     printf("P1 = (%i, %i)\n", x1, (int)y1);
12     printf("P1 = (%f, %f)\n", (double)x1, (double)y1); // operator pretypovani
13     printf("P1 = (%.3f, %.3f)\n", (double)x1, (double)y1);
14
15     printf("P2 = (%f, %f)\n", x2, y2);
16
17     double dx = (x1 - x2); // implicitni konverze na float, resp. double
18     double dy = (y1 - y2);
19
20     printf("(P1 - P2)=(%.3f, %0.3f)\n", dx, dy);
21     printf("|P1 - P2|^2=%.2f\n", dx * dx + dy * dy);
22     return 0;
23 }
```

Standardní vstup a výstup

- Spuštěný program v prostředí operačního systému má přiřazený znakově orientovaný standardní vstup (`stdin`) a výstup (`stdout`)

Výjimkou jsou zpravidla programy pro MCU bez OS.

- Program může prostřednictvím `stdout` a `stdin` komunikovat s uživatelem
- Základní funkce pro znakový výstup je `putchar()` a pro vstup `getchar()` definované ve standardní knihovně `<stdio.h>`.
- Pro načítání číselných hodnot lze využít funkci `scanf()`
- Formátovaný výstup je možné tisknout funkcí `printf()`, např. číselné hodnoty

Jedná se o knihovní funkce, ze standardní knihovny. Jména funkcí nejsou klíčová slova jazyka C.

Formátovaný výstup – printf()

- Číselné hodnoty lze tisknout (vypsat) na standardní výstup prostřednictvím funkce `printf()`

`man printf`, resp. `man 3 printf`

- Argumentem funkce je textový řídicí řetězec formátování výstupu
- Řídicí řetězec formátu je uvozen znakem `'%'`
- Znakové posloupností (nezačínající `%`) se vypíše tak jak jsou uvedeny
- Základní řídicí řetězce pro výpis hodnot jednotlivých typů

<code>char</code>	<code>%c</code>
<code>_Bool</code>	<code>%i, %u</code>
<code>int</code>	<code>%i, %x, %o</code>
<code>float</code>	<code>%f, %e, %g, %a</code>
<code>double</code>	<code>%f, %e, %g, %a</code>

- Dále je možné specifikovat počet vypsání míst, zarovnání vlevo (vpravo), atd.

Více na cvičení a v domácích úkolech.

Formátovaný vstup – scanf()

- Číselné hodnoty ze standardního vstupu lze načíst funkcí `scanf()`
- Argumentem je textový řídicí řetězec
- Je nutné předat paměťové místo pro uložení hodnoty
- Příklad načtení hodnoty celého čísla a hodnoty typu `double`

man scanf, resp. man 3 scanf
Syntax podobný příkazu printf()

```
1  #include <stdio.h>
2
3  int main(void)
4  {
5      int i;
6      double d;
7
8      printf("Enter int value: ");
9      scanf("%i", &i); /* operator & vraci adresu promenne i */
10
11
12     printf("Enter a double value: ");
13     scanf("%lf", &d);
14     printf("You entered %02i and %0.1f\n", i, d);
15
16     return 0;
17 }
```

lec02/scanf.c

Část II

Část 2 – Zadání 1. domácího úkolu (HW01)

Zadání 1. domácího úkolu HW01

Téma: Načítání vstupu, výpočet a výstup

Povinné zadání: **1b**; Volitelné zadání: **není**; Bonusové zadání: **není**

- **Motivace:** Získat představu o interakci uživatele s programem
- **Cíl:** Osvojit si načítání vstupu, formátovaného výstupu a základní posloupnosti příkazů
- **Zadání:** <https://cw.fel.cvut.cz/wiki/courses/b0b36prp/hw/hw01>
 - Načítání celých čísel ze standardního vstupu
(čísla v rozsahu [-10 000; 10 000])
 - Výpis čísel v dekadické a šestnáctkové soustavě
 - Provedení základní aritmetických operací s načtenými čísly
 - Výpočet podílu a průměrné hodnoty čísel
 - Dodržení správného formátování výstupu
Použijte **hex** zobrazení výstupu – **hexdump -C**
- **Termín odevzdání:** **09.10.2021, 23:59:59 PDT.**

PDT – Pacific Daylight Time

Shrnutí přednášky

Diskutovaná témata

- Základy programování v C
 - Program, zdrojové soubory a kompilace programu
 - Struktura zdrojového souboru a zápis programu
 - Proměnné, základní číselné typy
 - Proměnné, přiřazení a paměť
 - Základní výrazy
 - Standardní vstup a výstup programu
 - Formátovaný vstup a výstup

- Příště: Zápis programu v C a základní řídicí struktury