

Jazyk C: Opakování

18. února 2021

Cvičení z předmětu Operační systémy 1 jsou primárně zaměřena na pochopení a procvičení principů instrukčních sad dnešních procesorů. I když většina cvičení bude zaměřena na programování v assembleru, pro zvládnutí těchto cvičení je naprosto zásadní zvládnutí programování v jazyce C. Proto v úvodním cvičení připomeneme základní aspekty tohoto jazyka, se kterými budeme potřebovat pracovat.¹

1 Datové typy

Jazyk C nabízí širokou škálu datových typů, ať už skalárních (obsahují jednu hodnotu) tak složených. Určitou nevýhodou je, že různé překladače jazyka C mohou nabízet datové typy odlišných vlastností. Na cvičeních budeme používat 32bitový překladač MSVC, který je součástí Microsoft Visual Studio², proto budeme předpokládat následující vlastnosti datových typů.

1.1 Skalární datové typy

Pro reprezentaci celých čísel máme pět znaménkových datových typů `char`, `short`, `int`, `long`, `long long`, které mají ještě svou neznaménkovou variantu uvozenou klíčovým slovem `unsigned`. Velikosti a rozsahy jednotlivých datových typů ukazuje Tabulka 1.

typ	velikost (bit)	min. hodnota	max. hodnota
<code>char</code>	8	-128	127
<code>unsigned char</code>	8	0	255
<code>short</code>	16	-32.768	32.767
<code>unsigned short</code>	16	0	65.535
<code>int</code>	32	-2.147.483.648	2.147.483.647
<code>unsigned int</code>	32	0	4.294.967.295
<code>long</code>	32	-2.147.483.648	2.147.483.647
<code>unsigned long</code>	32	0	4.294.967.295
<code>long long</code>	64	-9.223.372.036.854.775.808	9.223.372.036.854.775.807
<code>unsigned long long</code>	64	0	18.446.744.073.709.551.616

Tabulka 1: Celočíselné datové typy a rozsahy

¹Tento text je pouze přehledový a nečiní si ambice popsat celý jazyk C.

²Důvody budou vysvětleny v následujícím cvičení.

Datové typy `int` a `long` mají v případě 32bitového překladače stejnou velikost, tj. 32 bitů. Obecně to nemusí platit, např. u 64bitových překladačů *v unixech* se používá `int` o velikosti 32 bitů a `long` o velikosti 64 bitů.

Název datového typu `char` naznačuje, že se jedná o typ sloužící k uložení znaků³, jedná se však o zcela obecný celočíselný typ, který může obsahovat nejen znaky ale obecně celá čísla. Následující deklarace a přiřazení jsou možné a ekvivalentní:

```
char foo = 'A';  
char foo = 65;
```

K reprezentaci čísel s plovoucí řádovou čárkou slouží datové typy `float`, `double` a `long double` o velikostech 32, 64 a 80 bitů. Čísla s plovoucí řádovou čárkou jsou obvykle zpracovávána jinak, proto se jim budeme věnovat v samostatném cvičení.

1.2 Ukazatele a pole

Specifickým případem skalárního datového typu jsou ukazatele. Hodnota ukazatele ukazuje na místo v paměti, kde je uložena hodnota daného typu. Následující příklad ilustruje jejich použití.

```
int a = 42;           // proměnná typu int  
int *p = &a;          // ukazatel na hodnotu typu int  
                      // operátor & (reference) je použit k získání ukazatele (adresy) proměnné a  
printf("%i\n", *p);   // přečtení hodnoty dané ukazatelem p  
                      // operátor * (dereference) získá hodnotu  
*p = 123;             // zde je operátor dereference použit ke změně hodnoty dané ukazatelem p
```

Ukazatele mají několik důležitých rolí (i) umožňují předávat argumenty odkazem, (ii) umožňují práci s poli, (iii) umožňují práci s dynamicky alokovanými objekty.

1.2.1 Předávání argumentů odkazem

Předávání argumentů odkazem je vhodné v situacích, kdy potřebujeme uložit výsledek do připravené paměti nebo chceme vrátit hodnotu přes argument (např. pokud máme více návratových hodnot), jak ukazuje následující příklad.

```
void add(int a, int b, int *x) {  
    *x = a + b;  
}
```

```
int z;  
add(10, 20, &z);
```

³Nejčastěji z ASCII tabulky.

1.2.2 Pole a ukazatele

Datový typ pole představuje celými čísly indexovanou kolekci hodnot stejného typu. Pole mohou být deklarovány buď s pevnou nebo nespecifikovanou velikostí.

```
int a[3]; // pole celých čísel o třech prvcích
int b[];  // pole celých čísel s nespecifikovanou velikostí
```

Pole jako hodnota si nenese informaci o své velikosti a jazyk nekontroluje, zda nepřistupujeme za hranici pole. Proto se následující kód sice provede, ale jeho provedení povede k nespecifikovanému chování, které se může projevit ihned nebo později.

```
int a[3];
int a[10] = 42;
```

Pole úzce souvisí s ukazateli. Pole můžeme chápat jako ukazatel na první prvek pole. Aritmetika s ukazateli nám pak umožňuje pole procházet, jak ukazuje následující příklad.

```
int a[3];
a[0] = 1; // přiřadí prvnímu prvku pole hodnotu 1
*a = 1;   // to samé s využitím ukazatele
a[1] = 2; // přiřadí druhému prvku pole hodnotu 2
*(a + 1) = 2; // to samé s využitím ukazatele
int *b = a; // přiřadí do b začátek pole a
b++;       // pole b bude začínat na druhém prvku pole a
printf("%i\n", b[0]); // vypíše 2
```

1.2.3 Dynamická alokace paměti

K dynamické alokaci paměti slouží funkce `void *malloc(size_t size)`, která alokuje minimálně `size` bytů paměti a vrací na ni ukazatel, jak ukazují následující příklady.

```
int *p = (int *) malloc(sizeof(int)); // alokuje paměť pro jednu hodnotu typu int
int *a = (int *) malloc(sizeof(int) * 10); // alokuje pole typu int o velikosti deset prvků
```

Alokovanou paměť je nutné uvolnit pomocí funkce `free`.

Paměť vrácená funkcí `malloc` není nijak inicializovaná a může obsahovat libovolná data. Pokud potřebujeme paměť vynulovanou, můžeme použít funkci `calloc`. V případě, že potřebujeme změnit velikost alokované paměti, použijeme funkci `realloc`. Poznamenejme, že pokud chceme pomocí funkce `realloc` zvětšit množství alokované paměti, dojde k alokaci nového místa a data jsou do něj následně překopírována.

1.3 Řetězce

Specifickým případem ukazatelů jsou řetězce, což jsou ukazatele typu `char *`, které ukazují na první znak řetězce. Konec řetězce je indikován znakem `'\0'` (odpovídá hodnotě 0).

V případě řetězcových literálů je konec řetězce doplněn automaticky. U těchto literálů dejte pozor na to, že mohou být, a často jsou, neměnné. Nelze tedy provést.

```
char *s = "abc";
s[0] = 'A'; // pravděpodobně selže
```

1.4 Pravdivostní hodnoty

Pro reprezentaci pravdivostních hodnot lze v jazyce C použít libovolný celočíselný typ včetně ukazatelů. Hodnota 0 nebo NULL odpovídá hodnotě *nepravda*, cokoliv jiného je chápáno jako *pravda*. Následující kód ukazuje nejběžnější případy použití.

```
int a = 1;
int *p = NULL;

if (a == 2) { } // explicitní porovnání
if (a) { }      // test, jestli proměnná „a“ obsahuje nenulovou hodnotu
if (!p) { }     // test, zda je ukazatel roven NULL
```

1.5 Strukturované datové typy

Související hodnoty různých datových typů lze spojit do jednoho strukturovaného datového typu. Následující kód ukazuje vytvoření nového datového typu představujícího bod v rovině.

```
struct point {
    int x;
    int y;
};
```

Takto jsme vytvořili nový strukturovaný datový typ `struct point`, se kterým můžeme pracovat například následovně.

```
struct point a = { 2, 4 };
void point_print(struct point p) {
    printf("[%i, %i]\n", p.x, p.y);
}
```

Pokud chceme zavést jednodušší pojmenování, můžeme využít klíčové slovo `typedef`, jak ukazuje následující příklad.

```
typedef struct point {
    int x;
    int y;
} point;
```

Takto nám vznikne strukturovaný datový typ pojmenovaný jen point. Použití typedef pro deklaraci strukturovaného datového typu není nezbytné.

Pozor, strukturované datové typy se předávají hodnotou, tzn. předáme-li do funkce argument, kterým je hodnota strukturovaného datového typu, dojde k vytvoření kopie jeho hodnoty.

Vyzkoušejme si:

```
void point_move(struct point p, int dx, int dy) {
    p.x += dx;
    p.y += dy;
}
```

```
point_print(a);           // vypíše [2, 4]
point_move(a, 13, 37);
point_print(a);           // vypíše [2, 4]
```

Všimněme si, že v důsledku předávání argumentu p hodnotou došlo ke změně jednotlivých složek pouze v rámci funkce point_move. Pokud bychom chtěli, aby změna hodnot byla viditelná i mimo rozsah funkce point_move, musíme hodnotu p předat odkazem, a pak s ní i tak pracovat, jak ukazuje následující příklad.

```
void point_move(struct point *p, int dx, int dy) {
    (*p).x += dx;
    p->y += dy;
}
```

```
point_move(&a, 13, 37);
```

Obraty (*p).x a p->x mají shodný význam, avšak ten druhý je srozumitelnější a běžnější.

2 Operátory

Jazyk C nabízí širokou paletu operátorů, některé jsou intuitivní, např. aritmetické nebo relační operátory, těm se nebudeme podrobněji věnovat, jiné jsme již zmínili (reference a dereference), a teď zmíníme jen ty méně obvyklé nebo ty, které mají určité specifické chování. Chování základních operátorů, se kterými se běžně setkáte popisuje následující výčet.

- `a = b` (přiřazení) přiřadí do prvního operandu hodnotu druhého operandu a vyhodnotí se na jeho hodnotu
- `a++` (inkrementace) zvýší hodnotu operandu o 1 a vyhodnotí se na hodnotu před inkrementací

- ++a (inkrementace) zvýší hodnotu operandu o 1 a vyhodnotí se na aktuální hodnotu
- a--, --a (dekrementace) analogicky inkrementaci
- a ? b : c (podmíněný výraz, ternární operátor) – pokud je první operand *pravda*, vyhodnotí se na druhý operand, jinak se vyhodnotí na třetí operand
- a && b (logický součin) – vyhodnotí se na *pravda*, pokud jsou oba operandy *pravdivé*, jinak se vyhodnotí na *nepravda*
- a || b (logický součet) – vyhodnotí se na *pravda*, pokud je alespoň jeden operand *pravda*, jinak se vyhodnotí na *nepravda*

U operátorů && a || dochází ke zkrácenému vyhodnocení. Pokud je jasné že, hodnota výrazu bude pravda nebo nepravda již po vyhodnocení prvního operandu, druhý operand se již nevyhodnocuje, například následující kód je zcela validní.

```
int a = 1;
if (a || (1 / 0)) { ... }
```

2.1 Bitové operace

Při programování na té nejnižší úrovni často potřebujeme pracovat s jednotlivými bity, k čemuž slouží operátory & (bitový součin), | (bitový součet), ^ (bitová non-ekvivalence, výlučné nebo, XOR), ~ (negace, inverze bitů), << a >> (bitové posuny).

Jejich použití ukazují následující příklady:

0101 0011 & 1001 0010 ----- 0001 0010	0101 0011 1001 0010 ----- 1101 0011	0101 0011 ^ 1001 0010 ----- 1100 0001
0101 0011 << 1 ----- 1010 0110	1001 0010 >> 1 ----- 1100 1001 znaménková varianta	1001 0010 >> 1 ----- 0100 1001 neznaménková varianta

Pozor, u bitového posunu vpravo záleží na tom, jestli danou operaci provádíme s hodnotou znaménkového nebo neznaménkového typu. Pokud máme neznaménkovou hodnotu (např. `unsigned char`), doplní se vždy jako nejvyšší bit 0. U znaménkových typů (např. `int`) se doplní kopie nejvyššího bitu.