

Struktury a uniony, přesnost výpočtů a vnitřní reprezentace číselných typů

Jan Faigl

Katedra počítačů
Fakulta elektrotechnická
České vysoké učení technické v Praze

Přednáška 06

B0B36PRP – Procedurální programování

Část I

Část 1 – Struktury a uniony

Přehled témat

■ Část 1 – Struktury a uniony

Struktury – `struct`

Proměnné se sdílenou pamětí – `union`

Příklad

Základní číselné typy a jejich reprezentace v počítači

Typové konverze

Matematické funkce

S. G. Kochan: kapitola 9 a 17

■ Část 2 – Přesnost výpočtů a vnitřní reprezentace číselných typů

S. G. Kochan: kapitola 14 (typové konverze)

■ Část 3 – Zadání 6. domácího úkolu (HW06)

Appendix – Kódovací příklady

Struktura – `struct`

- Struktura je konečná množina prvků (proměnných), které nemusí být stejného typu.
- Skladba struktury je definovaná uživatelem jako nový typ sestavený z již definovaných typů.
- K prvkům struktury **přistupujeme tečkovou notací**, např. `struct_proměnná.prvek`.
- K prvkům můžeme přistupovat přes ukazatel operátorem `->`, např.
`proměnná_typu_ukazatel_na_struct->prvek`.
- **Pro struktury stejného typu je definován operátor přiřazení**.
`var_struct1 = var_struct2;`
- Struktury (jako celek) **nelze** porovnávat relačním operátorem `==`.
- Struktura může být funkci předávána hodnotou i ukazatelem.
- Struktura může být návratovou hodnotou funkce.

Příklad struct – Definice

- Bez zavedení nového typu (`typedef`) je nutné před identifikátor jména struktury uvádět klíčové slovo `struct`.

- Jméno struktury je ve jmenném prostoru složených typů (struktur).

```

1 struct record {
2     int number;
3     double value;
4 };

1 typedef struct {
2     int n;
3     double v;
4 } item;

1 record r; /* IT IS NOT ALLOWED! */
2         /* Type record is not known */
4 struct record r; /* Keyword struct is required */
5 item i;      /* type item defined using typedef */

```

- Zavedením nového typu `typedef` používáme definovaný typ a nemusíme používat (a ani definovat) jméno struktury.

lec06/struct.c

Příklad struct – Inicializace

- Struktury:

```

1 struct record {
2     int number;
3     double value;
4 };

1 typedef struct {
2     int n;
3     double v;
4 } item;

```

- Proměnné typu struktura můžeme inicializovat prvek po prvku.

```

1 struct record r;
2 r.value = 21.4;
3 r.number = 7;

```

- Podobně jako pole lze inicializovat přímo při definici

```
1 item i = { 1, 2.3 };
```

- nebo pouze konkrétní položky (ostatní jsou nulovány).

```
1 struct record r2 = { .value = 10.4 };
```

lec06/struct.c

Definice jména struktury a typu struktury

- Uvedením `struct record` zavádíme nové jméno struktury `record`.

```

1 struct record {
2     int number;
3     double value;
4 };

```

- Definujeme identifikátor `record` ve jmenném prostoru struktur.

- Definicí typu `typedef` zavádíme nové jméno typu `record`.

```
1 typedef struct record record;
```

- Definujeme globální identifikátor `record` jako jméno typu `struct record`.

- Obojí můžeme kombinovat v jediné definici jména a typu struktury.

```

1 typedef struct record {
2     int number;
3     double value;
4 } record;

1 typedef struct record_struct_name {
2     int number;
3     double value;
4 } record_type;

```

Příklad struct jako parametr funkce

- Struktury můžeme předávat jako parametry funkcí hodnotou.

```

1 void print_record(struct record rec) {
2     printf("record: number(%d), value(%lf)\n",
3         rec.number, rec.value);
4 }

```

- Nebo hodnotou ukazatele

```

1 void print_item(item *v) {
2     printf("item: n(%d), v(%lf)\n", v->n, v->v);
3 }

```

- Při předávání parametru

- hodnotou** se vytváří nová proměnná a původní obsah předávané struktury se kopíruje na zásobník (pro složený typ je definován operátor přiřazení);

- hodnotou ukazatele** se kopíruje pouze hodnota ukazatele (adresa) a pracujeme tak s původní strukturou.

lec06/struct.c

Složený typ, operátor přiřazení a pole jako prvek složeného typu 1/2

- Velikost složeného typu musí být známa během překladač, proto můžeme mít definovaný operátor přiřazení. *Nebo naopak, abychom mohli jednoduše přiřazovat, tak potřebujeme znát velikost typu.*
- Prvek složeného typu může být pole (definované velikosti) nebo ukazatel.

```

1 void print(const char *str, int n, int *a);
2
3 #define N 10 // We need named literal.
4
5 int main(void)
6 {
7     const int n = N;
8     struct { // Anonymous struct
9         int a[N]; // Defined size, no VLA
10    } s1, s2; // Two struct variables
11
12    printf("s1 %p; s2 %p\n", &s1, &s2);
13    for (int i = 0; i < n; ++i) {
14        s1.a[i] = i;
15    }
16    print("s1.a", n, s1.a);
17    s2 = s1; // Assignment
18    print("s2.a", n, s2.a);
19
20     for (int i = 0; i < n; ++i) {
21         s1.a[i] = n - i;
22     }
23     print("s1.a", n, s1.a);
24     print("s2.a", n, s2.a);
25     return 0;
26 } // end main()
27
28 void print(const char *str, int n, int *a) {
29     printf("%s %p: ", str, a);
30     for (int i = 0; i < n; ++i) {
31         printf("%d%s", a[i], i < (n-1) ? ", " : "\n");
32     }
33 }

```

lec06/demo-struct_array.c

Příklad struct – Přiřazení

- Hodnoty proměnné stejného typu struktury můžeme přiřadit operátorem = .

```

1 struct record {
2     int number;
3     double value;
4 };
5
6 typedef struct {
7     int n;
8     double v;
9 } item;
10
11 struct record rec1 = { 10, 7.12 };
12 struct record rec2 = { 5, 13.1 };
13 item i;
14 print_record(rec1); /* number(10), value(7.120000) */
15 print_record(rec2); /* number(5), value(13.100000) */
16 rec1 = rec2;
17 i = rec1; /* IT IS NOT ALLOWED! */
18 // Different types, albeit with the same memory representation.
19 print_record(rec1); /* number(5), value(13.100000) */

```

lec06/struct.c

Složený typ, operátor přiřazení a pole jako prvek složeného typu 2/2

Příklad lec06/demo-struct_array.c

- Používáme anonymní složený typ - definice strukturu přímo v definici proměnných s1 a s2.
- Musíme použít textový literál pro definici velikosti položky a jako pole definované délky.
- Ve funkci print() tiskneme hodnotu adresy, kde je alokované pole.

V našem případě se shoduje s adresou, kde je struktura uložena. Struktura je „organizovaný“ pohled na blok paměti důležitý zejména pro zpřehlednění programu. Při běhu programu vlastně není nutné mít v paměti dílčí jména prvku složeného typu.

```

s1 0x7fffffff840; s2 0x7fffffff818
s1.a 0x7fffffff840: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
s2.a 0x7fffffff818: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
s1.a 0x7fffffff840: 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1
s2.a 0x7fffffff818: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

```

- V příkladu si vyzkoušejte chování překladač a programu v případě použití VLA nebo konstantní proměnné definující velikost pole.
- Pole definované velikosti nahraďte dynamicky alokovaným polem.

Příklad struct – Přímá kopie paměti

- Jsou-li dvě struktury stejně veliké, můžeme přímo kopírovat obsah příslušné paměťové oblasti. *Například funkcí memcpy() z knihovny string.h*

```

1 struct record r = { 7, 21.4 };
2 item i = { 1, 2.3 };
3 print_record(r); /* number(7), value(21.400000) */
4 print_item(&i); /* n(1), v(2.300000) */
5 if (sizeof(i) == sizeof(r)) {
6     printf("i and r are of the same size\n");
7     memcpy(&i, &r, sizeof(i));
8     print_item(&i); /* n(7), v(21.400000) */
9 }

```

- V tomto případě je interpretace hodnot v obou strukturách identická, obecně tomu však být nemusí. Například v případě změny pořadí prvků typu int a double.

lec06/struct.c

Struktura struct a velikost

- Vnitřní reprezentace struktury nutně nemusí odpovídat součtu velikostí jednotlivých prvků.

```

1 struct record {
2     int number;
3     double value;
4 };
1 typedef struct {
2     int n;
3     double v;
4 } item;
1 printf("Size of int: %lu size of double: %lu\n", sizeof(int), sizeof(
    double));
2 printf("Size of record: %lu\n", sizeof(struct record));
3 printf("Size of item: %lu\n", sizeof(item));

```

```

Size of int: 4 size of double: 8
Size of record: 16
Size of item: 16

```

lec06/struct.c

Struktura struct a velikost 2/2

- Nebo


```

1 typedef struct __attribute__((packed)) {
2     int n;
3     double v;
4 } item_packed;

```

- Příklad výstupu:

```

1 printf("Size of int: %lu size of double: %lu\n", sizeof(int), sizeof(double));
2 printf("record_packed: %lu\n", sizeof(struct record_packed));
3 printf("item_packed: %lu\n", sizeof(item_packed));

```

```

Size of int: 4 size of double: 8
Size of record_packed: 12
Size of item_packed: 12

```

lec06/struct.c

- Zarovnání zpravidla přináší rychlejší přístup do paměti, ale zvyšuje paměťové nároky.
<http://www.catb.org/esr/structure-packing>
<https://stackoverflow.com/questions/4306186/structure-padding-and-packing>

Struktura struct a velikost 1/2

- Při kompilaci zpravidla dochází k zarovnání prvků na velikost slova příslušné architektury.

Např. 8 bytů v případě 64-bitové architektury.

Jednotlivé prvky jsou na adrese v násobNapř. 8 bytů v případě 64-bitové architektury.

- Můžeme explicitně předeepsat kompaktní paměťovou reprezentaci, např. direktivou `__attribute__((packed))` překladačů `clang` a `gcc`.

```

1 struct record_packed {
2     int n;
3     double v;
4 } __attribute__((packed));

```

lec06/struct.c

Proměnné se sdílenou pamětí – union

- **Union** je množina prvků (proměnných), které nemusí být stejného typu.
- Prvky unionu sdílejí společně stejná paměťová místa.

Překrývají se

- Velikost unionu je dána velikostí největšího z jeho prvků.
- Skladba unionu je definována uživatelem jako nový typ sestavený z již definovaných typů.
- K prvkům unionu se přistupuje tečkovou notací.
- Pokud nedefinujeme nový typ, je nutné k identifikátoru proměnné unionu uvádět klíčové slovo `union`.

Podobně jako u struktury `struct`.

```

1 union Nums {
2     char c;
3     int i;
4 };
5 Nums nums; /* THIS IS NOT ALLOWED! Type Nums is not known! */
6 union Nums nums;

```

Příklad union 1/2

- Union složený z proměnných typu: `char`, `int` a `double`.

```

1 int main(int argc, char *argv[])
2 {
3     union Numbers {
4         char c;
5         int i;
6         double d;
7     };
8     printf("size of char %lu\n", sizeof(char));
9     printf("size of int %lu\n", sizeof(int));
10    printf("size of double %lu\n", sizeof(double));
11    printf("size of Numbers %lu\n", sizeof(union Numbers));
13    union Numbers numbers;
15    printf("Numbers c: %d i: %d d: %lf\n", numbers.c, numbers.i, numbers.d);

```

- Příklad výstupu.

```

size of char 1
size of int 4
size of double 8
size of Numbers 8
Numbers c: 48 i: 740313136 d: 0.000000

```

lec06/union.c

Inicializace union

- Proměnnou typu `union` můžeme inicializovat při definici.

```

1 union {
2     char c;
3     int i;
4     double d;
5 } numbers = { 'a' };

```

Pouze první položka (proměnná) může být inicializována.

- V C99 můžeme inicializovat konkrétní položku (proměnnou).

```

1 union {
2     char c;
3     int i;
4     double d;
5 } numbers = { .d = 10.3 };

```

Příklad union 2/2

- Proměnné sdílejí paměťový prostor.

```

1 numbers.c = 'a';
2 printf("\nSet the numbers.c to 'a'\n");
3 printf("Numbers c: %d i: %d d: %lf\n", numbers.c, numbers.i, numbers.d);
5 numbers.i = 5;
6 printf("\nSet the numbers.i to 5\n");
7 printf("Numbers c: %d i: %d d: %lf\n", numbers.c, numbers.i, numbers.d);
9 numbers.d = 3.14;
10 printf("\nSet the numbers.d to 3.14\n");
11 printf("Numbers c: %d i: %d d: %lf\n", numbers.c, numbers.i, numbers.d);

```

- Příklad výstupu

```

Set the numbers.c to 'a'
Numbers c: 97 i: 1374389601 d: 3.140000

Set the numbers.i to 5
Numbers c: 5 i: 5 d: 3.139999

Set the numbers.d to 3.14
Numbers c: 31 i: 1374389535 d: 3.140000

```

lec06/union.c

Příklad struktura, pole a výčtový typ 1/3

- Hodnoty (konstanty) výčtového typu jsou celá čísla, která mohou být použita jako indexy (pole).
- Také je můžeme použít pro inicializaci pole struktur.

```

1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3 #include <string.h>
5 enum weekdays { MONDAY, TUESDAY, WEDNESDAY, THURSDAY, FRIDAY };
7 typedef struct {
8     char *name;
9     char *abbr; // abbreviation
10 } week_day_s;
12 const week_day_s days_en[] = {
13     [MONDAY] = { "Monday", "mon" },
14     [TUESDAY] = { "Tuesday", "tue" },
15     [WEDNESDAY] = { "Wednesday", "wed" },
16     [THURSDAY] = { "Thursday", "thr" },
17     [FRIDAY] = { "Friday", "fri" },
18 };

```

lec06/demo-struct.c

Příklad struktura, pole a výčtový typ 2/3

- Připravíme si pole struktur pro konkrétní jazyk (angličtina a čeština).
- Program vytiskne jméno a zkratku dne v týdnu dle čísla dne v týdnu.
V programu používáme jednotné číslo dne bez ohledu na jazykovou mutaci.

```

19 const week_day_s days_cs[] = {
20     [MONDAY] = { "Pondeli", "po" },
21     [TUESDAY] = { "Utery", "ut" },
22     [WEDNESDAY] = { "Streda", "st" },
23     [THURSDAY] = { "Ctvrtek", "ct" },
24     [FRIDAY] = { "Patek", "pa" },
25 };
27 int main(int argc, char *argv[], char **envp)
28 {
29     int day_of_week = argc > 1 ? atoi(argv[1]) : 1;
30     if (day_of_week < 1 || day_of_week > 5) {
31         fprintf(stderr, "(EE) File: '%s' Line: %d -- Given day of week out of range\n", __FILE__,
32             __LINE__);
33         return 101;
34     }
35     day_of_week -= 1; // start from 0
36 }

```

lec06/demo-struct.c

Datové typy

- Při návrhu algoritmu abstrahujeme od binární podoby paměti počítače.
- S daty pracujeme jako s hodnotami různých datových typů, které jsou uloženy v paměti předepsaným způsobem.
- Datový typ specifikuje
 - Množinu hodnot, které je možné v počítači uložit;
Záleží na způsobu reprezentace.
 - Množinu operací, které lze s hodnotami typu provádět.
- **Jednoduchý typ** je takový typ, jehož hodnoty jsou atomické, tj. z hlediska operací dále nedělitelné.

Příklad struktura, pole a výčtový typ 3/3

- Detekci národního prostředí provedeme podle hodnoty proměnné prostředí.
Pro jednoduchost detekujeme češtinu na základě výskytu řetězce "cs" v hodnotě proměnné prostředí LC_CTYPE.

```

35 _Bool cz = 0;
36 while (*envp != NULL) {
37     if (strstr(*envp, "LC_CTYPE") && strstr(*envp, "cs")) {
38         cz = 1;
39         break;
40     }
41     envp++;
42 }
43 const week_day_s *days = cz ? days_cs : days_en;
44 printf("%d %s %s\n", day_of_week,
45     days[day_of_week].name,
46     days[day_of_week].abbr
47 );
48 return 0;
49 }

```

lec06/demo-struct.c

V programu jsme využili koncept definování datových struktur, které následně programově přepínáme a využíváme. Alternativně můžeme data načítat ze souboru. V programu se snažíme obecně pracovat s datovými strukturami.

Příklad číselných typů a vnitřní reprezentace

- 32-bitový typ `int` umožňuje uložit celá čísla v intervalu $(-2147483648, 2147483647)$, pro která můžeme použít:
 - aritmetické operace `+`, `-`, `*`, `/` s výsledkem hodnota typu `int`;
 - relační operace `==`, `!=`, `>`, `<`, `>=`, `<=`.
 - Inicializovat hodnotou dekadického nebo hexadecimálního literálu.
- ```

1 int i; // definice promenne typu int
2 int decI = 120; // definice spolu s prirazenim
3 int hexI = 0x78; //pocatecni hodnota v 16-kove soustave
5 int sum = 10 + decI + 0x13; //pocatecni hodnota je vyraz

```
- Vnitřní reprezentace typů (např. `int`, `short`, `double`) umožňuje uložit čísla z definovaného rozsahu s různou přesností.
  - Číselné datové typy lze vzájemně převádět implicitní nebo explicitní typovou konverzí.
  - Při konverzi nemusí být hodnota zachována – viz  
`lec06/demo-types.c`.

## Reprezentace dat v počítači

- V počítači není u datové položky určeno jaký konkrétní datový typ je v paměti uložen.
- Proto musíme přidělení paměti **definovat** s jakými typy dat budeme pracovat.
- Překladač tuto definici hlídá a volí odpovídající strojové instrukce pro práci s daty, např. jako s odpovídajícími číselnými typy.

*Např. neceločíselné (float) typy a využití tzv. FPU (Floating Point Unit).*

### Příklad zápisů stejného čísla v různých soustavách.

- $0100\ 0001_{(2)}$  – binární zápis jednoho bajtu (8-mi bitů);
- $65_{(10)}$  – odpovídající číslo v dekadické soustavě;
- $41_{(16)}$  – odpovídající číslo v šestnáctkové soustavě;
- Obsah paměťového místa  $0100\ 0001_{(2)}$  o velikosti 1 byte může být interpretován jako znak A.

## Kódování záporných čísel

- |                                                                                                                                        |                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| ■ <b>Přímý kód</b> – znaménko je určeno prvním bitem (zleva), snadné stanovení absolutní hodnoty. Reprezentace má dvě nuly.            | ■ $121_{(10)}$ $0111\ 1001_{(2)}$  |
|                                                                                                                                        | ■ $-121_{(10)}$ $1111\ 1001_{(2)}$ |
|                                                                                                                                        | ■ $0_{(10)}$ $0000\ 0000_{(2)}$    |
|                                                                                                                                        | ■ $-0_{(10)}$ $1000\ 0000_{(2)}$   |
| ■ <b>Inverzní kód</b> – záporné číslo odpovídá bitové negaci kladné hodnoty čísla. Reprezentace má dvě nuly.                           | ■ $121_{(10)}$ $0111\ 1001_{(2)}$  |
|                                                                                                                                        | ■ $-121_{(10)}$ $1000\ 0110_{(2)}$ |
|                                                                                                                                        | ■ $0_{(10)}$ $0000\ 0000_{(2)}$    |
|                                                                                                                                        | ■ $-0_{(10)}$ $1111\ 1111_{(2)}$   |
| ■ <b>Doplňkový kód</b> – záporné číslo je uloženo jako hodnota kladného čísla po bitové negaci zvětšená o 1. Jediná reprezentace nuly. | ■ $127_{(10)}$ $0111\ 1111_{(2)}$  |
|                                                                                                                                        | ■ $-128_{(10)}$ $1000\ 0000_{(2)}$ |
|                                                                                                                                        | ■ $-1_{(10)}$ $1111\ 1111_{(2)}$   |

## Číselné soustavy

- Číselné soustavy – poziční číselné soustavy (polyadické) jsou charakterizovány bází udávající kolik číslic lze maximálně použít.

$$x_d = \sum_{i=-n}^{i=m} a_i \cdot z^i, \text{ kde } a_i \text{ je číslice a } z \text{ je základ soustavy.}$$

- Unární – např. počet vypitých půllitrů.
- Binární soustava (bin) – 2 číslice 0 nebo 1.

$$\begin{aligned} 11010,01_{(2)} &= 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^{-1} + 1 \cdot 2^{-2} \\ &= 1 \cdot 16 + 1 \cdot 8 + 0 \cdot 4 + 1 \cdot 2 + 0 \cdot 1 + 0 \cdot \frac{1}{2} + 1 \cdot \frac{1}{4} \\ &= 26,25 \end{aligned}$$

- Desítková soustava (dec) – 10 číslic, znaky 0 až 9.

$$\begin{aligned} 138,24_{(10)} &= 1 \cdot 10^2 + 3 \cdot 10^1 + 8 \cdot 10^0 + 2 \cdot 10^{-1} + 4 \cdot 10^{-2} \\ &= 1 \cdot 100 + 3 \cdot 10 + 8 \cdot 1 + 2 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,01 \end{aligned}$$

- Šestnáctková soustava (hex) – 16 číslic, znaky 0 až 9 a A až F.

$$\begin{aligned} 0x7D_{(16)} &= 7 \cdot 16^1 + D \cdot 16^0 \\ &= 112 + 13 \\ &= 125 \end{aligned}$$

## Více-bajtová reprezentace a pořadí bajtů

- Číselné typy s více-bajtovou reprezentací mohou mít bajty uloženy v různém pořadí.
  - *little-endian* – **nejméně** významný bajt se ukládá na nejnižší adresu. *x86, ARM*
  - *big-endian* – **nejvíce** významný bajt se ukládá na nejnižší adresu. *Motorola, ARM*

- Pořadí je důležité při přenosu hodnot z paměti jako posloupnosti bajtů a jejich následné interpretaci.

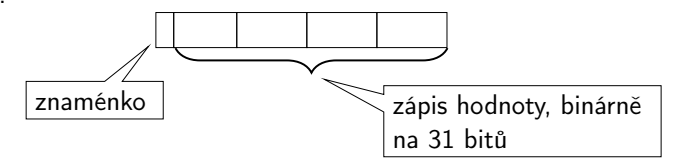
- **Network byte order** – je definován pro síťový přenos a není tak nutné řešit konkrétní architekturu.
  - Tj. hodnoty z paměti jsou ukládány a přenášeny v tomto pořadí bajtů a na cílové stanici pak zpětně zapsány do konkrétního nativního pořadí.

*big-endian*

*Informativní*

## Příklad reprezentace celých čísel **int**

- Na 32-bitových a 64-bitových strojích je celočíselný typ **int** zpravidla reprezentován 32 bity (4 byty).



- Typ **int** je znaménkový typ.
- Znaménko je zakódováno v 1 bitu a vlastní číselná hodnota pak ve zbývajících 31 bitech.
  - Největší číslo je  $0111 \dots 111 = 2^{31} - 1 = 2\,147\,483\,647$ . *Reprezentujeme i nulu.*
  - Nejmenší číslo je  $-2^{31} = -2\,147\,483\,648$ . *0 už je zahrnuta.*
- Pro zobrazení záporných čísel je použit **doplňkový kód**.  
Nejmenší číslo v doplňkovém kódu 1000...000 je  $-2^{31}$ .

## Necelá čísla a přesnost výpočtu 1/2

- Ztráta přesnosti při aritmetických operacích.

### Příklad sčítání dvou čísel

```

1 #include <stdio.h>
2
3 int main(void)
4 {
5 double a = 1e+10;
6 double b = 1e-10;
7
8 printf("a : %24.121f\n", a);
9 printf("b : %24.121f\n", b);
10 printf("a+b: %24.121f\n", a + b);
11
12 return 0;
13 }
14
15 clang sum.c && ./a.out
16 a : 10000000000.000000000000
17 b : 0.00000000000100
18 a+b: 10000000000.000000000000

```

lec06/sum.c

## Reprezentace záporných celých čísel

- Doplňkový kód –  $D(x)$ .
- Pro 8-mi bitovou reprezentací čísel.
  - Můžeme reprezentovat  $2^8=256$  čísel.
  - Rozsah  $r = 256$ .

$$D(x) = \begin{cases} x & \text{pro } 0 \leq x < \frac{r}{2} \\ r + x & \text{pro } -\frac{r}{2} \leq x < 0 \end{cases} \quad (1)$$

- Příklady

| Desítkově | Doplňkový kód                                  |
|-----------|------------------------------------------------|
| 0–127     | 0000 0000 – 0111 1111                          |
| 128       | nelze zobrazit na 8 bitů v doplňkovém kódu     |
| -128      | $D(-128) = 256 + (-128) = 128$ to je 1000 0000 |
| -1        | $D(-1) = 256 + (-1) = 255$ to je 1111 1111     |
| -4        | $D(-4) = 256 + (-4) = 252$ to je 1111 1100     |

Informativní

## Necelá čísla a přesnost výpočtu 2/2

### Příklad dělení dvou čísel

```

1 #include <stdio.h>
2
3 int main(void)
4 {
5 const int number = 100;
6 double dV = 0.0;
7 float fV = 0.0f;
8
9 for (int i = 0; i < number; ++i) {
10 dV += 1.0 / 10.0;
11 fV += 1.0 / 10.0;
12 }
13
14 printf("double value: %lf ", dV);
15 printf(" float value: %lf ", fV);
16
17 return 0;
18 }
19
20 clang division.c && ./a.out
21 double value: 10.000000 float value: 10.000002

```

lec06/division.c



## Přesnost výpočtu - strojová přesnost

- Strojová přesnost  $\epsilon_m$  - nejmenší desetinné číslo, které přičtením k 1.0 dává výsledek různý od 1, pro  $|v| < \epsilon_m$ , platí

$$v + 1.0 \neq 1.0.$$

Symbol  $\neq$  odpovídá porovnání dvou hodnot (test na ekvivalenci).

- Zaokrouhlovací chyba - nejméně  $\epsilon_m$ .
- Přesnost výpočtu - aditivní chyba roste s počtem operací v řádu  $\sqrt{N} \cdot \epsilon_m$ .
  - Často se však kumuluje preferabilně v jedno směru v řádu  $N \cdot \epsilon_m$ .

## Model reprezentace reálných čísel

- Reálná čísla se zobrazují jako aproximace daným rozsahem paměťového místa.
- Reálné číslo  $x$  se zobrazuje ve tvaru

$$x = \text{mantisa} \cdot \text{základ}^{\text{exponent}}$$

- Pro jednoznačnost zobrazení musí být mantisa normalizována, např.  $0, 1 \leq m < 1$  nebo ve tvaru  $\pm 1.[\text{mantisa}] \cdot 2^{\text{exponent}}$
- Ve vyhrazeném paměťovém prostoru je pro zvolený základ uložen exponent a mantisa jako dvě celá čísla.



## Reprezentace reálných čísel

- Pro uložení čísla vyhrajujeme omezený paměťový prostor.

**Příklad – zápis čísla  $\frac{1}{3}$  v dekadické soustavě**

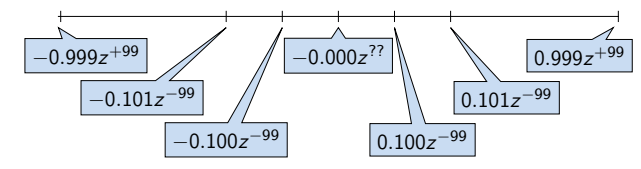
- $= 33333333 \dots 3333$
- $= 0,3\bar{3}$
- $\approx 0,333333333333333333$
- $\approx 0,333$

V trojkové soustavě:  $0 \cdot 3^1 + 0 \cdot 3^0 + 1 \cdot 3^{-1} = (0,1)_3$

- Nepřesnosti v zobrazení reálných čísel v konečné posloupnosti bitů způsobují
  - Iracionální čísla, např.  $e, \pi, \sqrt{2}$ ;
  - Čísla, která mají v dané soustavě periodický rozvoj, např.  $\frac{1}{3}$ ;
  - Čísla, která mají příliš dlouhý zápis.

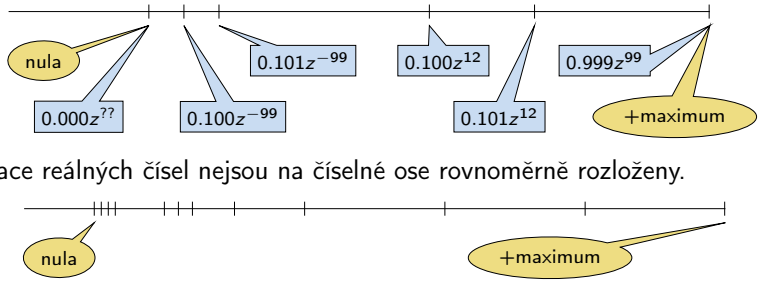
## Příklad modelu reprezentace reálných čísel na 7 bajtů se základem 10

- Mantisa 3 pozice plus znaménko, délka exponentu 2 pozice plus znaménko, základ  $z = 10$ .  
*Reprezentace dle IEEE-754 používá dvojkový základ!*
- Reprezentace nuly.
  - Diagram:  $[\text{?}] [\text{??}] [\text{+}] [\text{000}]$
- Maximální zobrazitelné kladné číslo  $0,999z^{99}$ .
  - Diagram:  $[\text{+}] [\text{99}] [\text{+}] [\text{999}]$
- Minimální zobrazitelné kladné číslo  $0,100z^{-99}$ .
  - Diagram:  $[\text{-}] [\text{99}] [\text{+}] [\text{100}]$
- Příklad  $x = 77,5 = 0,775 \cdot z^{+02}$ .
  - Diagram:  $[\text{+}] [\text{02}] [\text{+}] [\text{775}]$
- Maximální zobrazitelné záporné číslo  $-0,100z^{-99}$ .
  - Diagram:  $[\text{-}] [\text{99}] [\text{-}] [\text{100}]$
- Minimální zobrazitelné záporné číslo  $-0,999z^{+99}$ .
  - Diagram:  $[\text{+}] [\text{99}] [\text{-}] [\text{999}]$



## Model reprezentace reálných čísel a vzdálenost mezi aproximacemi

- Rozsah hodnot pro konkrétní exponent je dán velikostí mantisy.
- Absolutní vzdálenost dvou aproximací tak záleží na exponentu.
  - Mezi hodnotou 0 a 1,0 je využit celý rozsah mantisy pro exponenty  $\{-99, -98, \dots, 0\}$ .



Čím větší exponent, tím větší „mezery“ mezi sousedními aproximacemi čísel.

## Příklad reprezentace float hodnot dle IEEE 754

**IEEE 754 Converter (JavaScript), V0.22**

| Sign                                        | Exponent                            | Mantissa                            |
|---------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Value: -1                                   | 28                                  | 1.0029296875                        |
| Encoded as: 1                               | 135                                 | 24576                               |
| Binary: <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |

You entered: -256.75  
 Value actually stored in float: -256.75  
 Error due to conversion: 0.00  
 Binary Representation: 11000011100000000110000000000000  
 Hexadecimal Representation: 0xc3806000

---

**IEEE 754 Converter (JavaScript), V0.22**

| Sign                                        | Exponent                            | Mantissa                            |
|---------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Value: -1                                   | 28                                  | 1.0028905868530273                  |
| Encoded as: 1                               | 135                                 | 24248                               |
| Binary: <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |

You entered: -256.74  
 Value actually stored in float: -256.739990234375  
 Error due to conversion: 0.000009765625  
 Binary Representation: 1100001110000000010111010111000  
 Hexadecimal Representation: 0xc3805e88

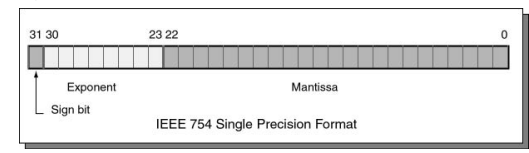
- Chyba reprezentace -256.75 vs -256.74.
- Infinity (0x7f800000), -Infinity (0xff800000), a NaN (0x7fffffff).

<https://www.h-schmidt.net/FloatConverter/IEEE754.html>

## Reprezentace necelých čísel – IEEE 754

Základ 2.

- Reálné číslo  $x$  se zobrazuje ve tvaru  $x = (-1)^s \text{mantisa} \cdot 2^{\text{exponent} - \text{bias}}$ .  
IEEE 754, ISO/IEC/IEEE 60559:2011
- Mantisa je **normalizována** na první jedničku vlevo (v soustavě o dvojkovém základu).
- **float** – 32 bitů (4 bajty):  $s$  – 1 bit znaménko (+ nebo -), **exponent** – 8 bitů, tj. 256 možností. **mantisa** – 23 bitů  $\approx$  16,7 milionu možností.



- **double** – 64 bitů (8 bajtů).
  - $s$  – 1 bit znaménko (+ nebo -).
  - **exponent** – 11 bitů, tj. 2048 možností.
  - **mantisa** – 52 bitů  $\approx$  4,5 biliardy možností (4 503 599 627 370 495).
- **bias** umožňuje reprezentovat exponent vždy jako kladné číslo.

Lze zvolit, např.  $\text{bias} = 2^{eb-1} - 1$ , kde  $eb$  je počet bitů exponentu.

<http://www.root.cz/clanky/norma-ieee-754-a-pribuzni-formaty-plovouci-radove-tecky>

## Přřazovací operátor a příkaz

- Slouží pro nastavení hodnoty proměnné.  
*Uložení číselné hodnoty do paměti, kterou proměnná reprezentuje.*
- Tvar přřazovacího operátoru.  
 $\langle \text{proměnná} \rangle = \langle \text{výraz} \rangle$   
*Výraz je literál, proměnná, volání funkce, ...*

■ Zkrácený zápis  
 $\langle \text{proměnná} \rangle \langle \text{operátor} \rangle = \langle \text{výraz} \rangle$

- Přřazení je výraz **asociativní zprava**.
- Přřazovací příkaz – výraz zakončený středníkem ;

```

1 int x; //definice promenne x
2 int y; //definice promenne y
4 x = 6;
5 y = x = x + 6;

1 int x, y; //definice promennych x a y
3 x = 10;
4 y = 7;
6 y += x + 10;

```

## Typové konverze

- Typová konverze je operace převedení hodnoty nějakého typu na hodnotu typu jiného.
- Typová konverze může být
  - implicitní** – vyvolá se automaticky;
  - explicitní** – je nutné v programu explicitně uvést.
- Konverze typu **int** na **double** je implicitní.
 

*Hodnota typu int může být použita ve výrazu, kde se očekává hodnota typu double, dojde k automatickému převodu na hodnotu typu double.*

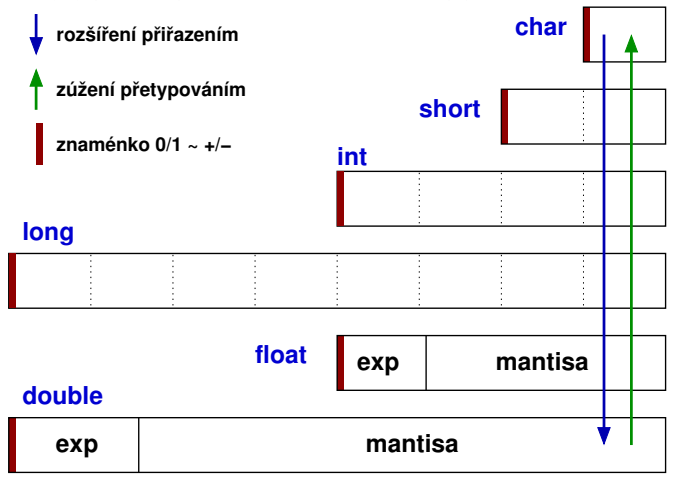
### Příklad

```
1 double x;
2 int i = 1;
4 x = i; // hodnota 1 typu int se automaticky převede
5 // na hodnotu 1.0 typu double
```

- Implicitní konverze je bezpečná.

## Konverze primitivních číselných typů

- Primitivní datové typy jsou vzájemně nekompatibilní, ale jejich hodnoty lze převádět.



## Explicitní typové konverze

- Převod hodnoty typu **double** na **int** je třeba **explicitně** předeepsat.
- Dojde k „odseknutí“ necelé části hodnoty int.

### Příklad

```
1 double x = 1.2; // definice proměnné typu double
2 int i; // definice proměnné typu int
3 int i = (int)x; // hodnota 1.2 typu double se převede
4 // na hodnotu 1 typu int
```

- Explicitní konverze je potenciálně nebezpečná.

### Příklady

```
1 double d = 1e30;
2 int i = (int)d;
4 // i je -2147483648
5 // to je asi -2e9 místo 1e30

1 long l = 5000000000L;
2 int i = (int)l;
4 // i je 705032704
5 // (oříznuté 4 bajty)
 lec06/demo-type_conversion.c
```

## Matematické funkce

- <math.h>** – základní funkce pro práci s „reálnými“ čísly.
  - Výpočet odmocniny necelého čísla  $x$ .
 

```
double sqrt(double x);, float sqrtf(float x);
```

*V C funkce nepřetěžujeme, proto jsou jména odlišena.*
  - `double pow(double x, double y);` – výpočet obecné mocniny.
  - `double atan2(double y, double x);` – výpočet  $\arctan y/x$  s určením kvadrantu.
  - Symbolické konstanty – `M_PI`, `M_PI_2`, `M_PI_4`, atd.
    - `#define M_PI 3.14159265358979323846`
    - `#define M_PI_2 1.57079632679489661923`
    - `#define M_PI_4 0.78539816339744830962`
  - `isfinite()`, `isnan()`, `isless()`, ... – makra pro porovnání reálných čísel.
  - `round()`, `ceil()`, `floor()` – zaokrouhlování, převod na celá čísla.
- <complex.h>** – funkce pro počítání s komplexními čísly. ISO C99
- <fenv.h>** – funkce pro řízení zaokrouhlování a reprezentaci dle IEEE 754. man math

## Část II

### Část 3 – Zadání 6. domácího úkolu (HW06)

### Zadání 6. domácího úkolu HW06

#### Téma: Maticové počty

Povinné zadání: **2b**; Volitelné zadání: **3b**; Bonusové zadání: **3b**

- **Motivace:** Získání zkušenosti s dvojrozměrným polem.
- **Cíl:** Osvojit si práci s polem variabilní délky a předávání ukazatelů.
- **Zadání:** <https://cw.fel.cvut.cz/wiki/courses/b0b36prp/hw/hw06>
  - Načtení vstupních hodnot dvou matic a znaku operace ('\*' – násobení).
  - **Volitelné zadání** rozšiřuje úlohu o další operace s maticemi sčítání ('+') a odčítání ('-'), které mohou být zapsány ve výrazu.
  - **Bonusové zadání** pak řeší zpracování celého výrazu, ve kterém jsou však jednotlivé matice uvedeny jako symboly, které jsou nejdříve definovány načtením hodnot matic ze standardního vstupu.

Využití struct a dynamické alokace může být výhodnou, není však nutné.

- **Termín odevzdání:** 30.11.2024, 23:59:59 PST.
- **Bonusová úloha:** 11.01.2025, 23:59:59 CET.

PST – Pacific Standard Time

CET – Central European Time

## Shrnutí přednášky

### Diskutovaná témata

- Struktury, způsoby definování, inicializace a paměťové reprezentace
- Uniony
- Přesnost výpočtu
- Vnitřní paměťová reprezentace celočíselných i neceločíselných číselných typů
- Knihovna `math.h`
  
- **Příště:** Standarní knihovny C. Rekurze.

## Část IV Appendix

## Kódovací příklad – Textové řetězce – toupper() 1/2

- Implementujme funkci, která převede malá písmena na velká (ASCII znaky 'a'-'z'). Využijeme vlastní myMalloc().

```
1 #ifndef __MY_MALLOC_H__
2 #define __MY_MALLOC_H__
4 #include <stdlib.h>
6 void* myMalloc(size_t size, const char *filename,
 int line);
8 #endif
 my_malloc.h
```

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
4 #include "my_malloc.h"
6 void* myMalloc(size_t size, const char *filename,
 int line)
7 {
8 void *ret = malloc(size);
9 if (!ret) {
10 fprintf(stderr, "ERROR: Malloc failed called
 at %s:%i!\n", filename, line);
11 exit(-1);
12 }
13 return ret;
14 }
 my_malloc.c
```

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <string.h>
4 #include "my_malloc.h"
6 int main(void)
7 {
8 const char *str = "I like prp!"; // Ukazatel na literál!
9 const size_t n = strlen(str); // Co se stane když str == NULL!
10 char *stru = myMalloc(
11 (n + 1) * sizeof(char), //+1 pro '\0'
12 __FILE__, __LINE__
13);
14 for (int i = 0; i < n; ++i) {
15 stru[i] = (str[i] >= 'a' && str[i] <= 'z') ?
16 str[i] & 0xdf : str[i]; // 0xdf viz ASCII tabulka!
17 }
18 stru[n] = '\0'; // zajištění textového řetězce
19 printf("%s\n", str);
20 printf("%s\n", stru);
21 free(stru); // Volání je ok i v případě, že stru == NULL.
22 return EXIT_SUCCESS;
23 }
```

- V našem případě je str platný řetězec, proto je řádek 9 v pořádku.
- Přesto převod přepíšeme do funkce toupper(), kde tomu tak být nemusí.

## Kódovací příklad – Textové řetězce – toupper() 2/2

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <string.h>
4 #include "my_malloc.h"
6 char* strtoupper(const char *str);
8 int main(void)
9 {
10 const char *str = "I like prp!";
11 char * const stru = strtoupper(str);
12 printf("%s\n", str);
13 printf("%s\n", stru);
14 free(stru); // Volání ok i pro str == NULL.
15 return EXIT_SUCCESS;
16 }
17 }
```

```
1 $ clang strtoupper.c my_malloc.c && ./a.out
2 I like prp!
3 I LIKE PRP!
```

- Volání funkce strtoupper() může být předán neplatný ukazatel NULL).
- Explicitně ošetřujeme, ikdyž například funkce strlen() předpokládá validní vstup a volání strlen(NULL) může skončit chybou programu.
- V našem programu, alokujeme ve funkci strtoupper() paměť dynamicky a to vždy nejméně pro jeden znak ('\0').

```
1 char* strtoupper(const char *str)
2 {
3 char *ret = myMalloc(// Co se stane když malloc(0)?
4 // Ověříme, zdali je str platný ukazatel
5 (str ? strlen(str) + 1 : 1) * sizeof(char),
6 __FILE__, __LINE__
7);
8 const char *cur = str; // kurzor vstupního řetězce
9 char *d = ret; // kurzor výstupního řetězce
10 while (cur && *cur) {
11 *d = *cur++;
12 if (*d >= 'a' && *d <= 'z') {
13 *d = *d - 'a' + 'A';
14 }
15 d += 1;
16 }
17 *d = '\0'; // ret je vždy nejméně 1 byte dlouhý.
18 return ret;
19 }
20 }
```

## Kódovací příklad – Textové řetězce – strrev() 1/2

- Implementujme funkci, která vrátí obrácený řetěz. Nejdříve však začneme pracovní verzi ve funkci main().

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3 #include <string.h>
4 int main(void)
5 {
6 char *str = "I like prp!";
7 size_t j, n = strlen(str);
8 printf("%s\n", str);
9 for (size_t i = 0, j = n-1; i < n/2; ++i, --j) {
10 char t = str[i];
11 str[i] = str[j];
12 str[j] = t;
13 }
14 printf("%s\n", str);
15 return EXIT_SUCCESS;
16 }
17 }
```

- V cyklu využíváme operátor čárky k inicializaci a dekrementaci proměnné j.
- Opět v našem programu je řetězec str platný a můžeme tak bezpečně volat funkci strlen(str).
- Nicméně po odladění obrácení řetězce, program přepíšeme s implementací naší nové funkce strrev().

```
1 $ clang -g strrev.c && ./a.out
2 I like prp!
3 Command terminated
4 Command: ./a.out
5 ==10618==
6 I like prp!
7 ==10618==
8 ==10618== Process terminating with default action of signal 11 (
 SIGSEGV)
9 ==10618== Bad permissions for mapped region at address 0x20056D
10 ==10618== Bad permissions for mapped region at address 0x20056D
11 ==10618== Bad permissions for mapped region at address 0x20056D
12 ==10618== Bad permissions for mapped region at address 0x20056D
```

- Program však skončí chybou! Zapisujeme do paměti literálů!

```
1 char str[] = "I like prp!";
```

- Nahrazením ukazatele na literál polem, program funguje.

```
1 $ clang -g strrev.c && ./a.out
2 I like prp!
3 !prp ekil I
```

- Program přepíšeme s využitím myMalloc().

# Kódovací příklad – Textové řetězce – strrev() 2/2

```

1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3 #include "my_malloc.h"
4 char* strrev(const char *str);
5
6 int main(void)
7 {
8 char *str = "I like prp!";
9 char *strr = strrev(str);
10 printf("%s\n", str);
11 printf("%s\n", strr);
12 free(strr);
13 return EXIT_SUCCESS;
14 }

```

```

20 char* strrev(const char *str)
21 {
22 size_t n = str ? strlen(str) : 0;
23 char *ret = myMalloc((n + 1) * sizeof(char), __FILE__,
24 __LINE__);
25 const char *cur = str + n; // ukazatelová aritmetika
26 char *dst = ret;
27 while (str && cur != str) { // kontrola str!
28 *dst = *--cur;
29 dst += 1;
30 }
31 *dst = '\0'; //ret je vždy nejméně 1 byte dlouhý.
32 return ret;
33 }

```

- Funkce `strrev()` vytváří nový řetězec, proto můžeme bezpečně předat ukazatel na textový literál.
- Volání `strrev()` vrátí textový řetězec, nebo končí chybou (volání `myMalloc()`).
- Proměnná `str` tak vždy ukazuje na paměť, ve které je nejméně jeden znak a to `'\0'`.
- Program tak v rámci `main()` vždy skončí úspěšně `EXIT_SUCCESS`.
- Ve funkci `main()` tak vlastně ani explicitně neřešíme návratové hodnoty volání.

- Ve funkci explicitně ověřujeme, že vstupní řetězec není `NULL`.
- V naší implementaci je prázdný (`NULL`) řetězec ekvivalentní s řetězcem o délce nula.
- Pokud je `str == NULL`, není hodnota `cur` validní.
- Proto ve `while` cyklu explicitně testujeme `str`.
- Z hlediska efektivity bychom mohli volání funkce v případě `str == NULL` ukončit dříve.
- Nicméně volíme přehlednost, menší počet řádků a jediný `return` ve funkci.

# Kódovací příklad – Textové řetězce – strwc() 2/2

- Čtení znaků ze `stdin` funkcí `getchar()` nahradíme voláním `getline()` z `stdlib.h`. Viz `man getline`.

```

1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3 #include <stdbool.h>
4 #include <ctype.h>
5 #include "my_malloc.h"
6 char* strwc(const char *str);
7 int main(void)
8 {
9 char *line = NULL; // nezbytné k alokaci v getline()
10 size_t cap = 0; // alokovaná kapacita v getline()
11 // getline vrací -1 při chybě, proto ssize_t
12 ssize_t l = getline(&line, &cap, stdin);
13 int wc = strwc(line);
14 fprintf(stderr, "DEBUG: Read line \"%s\" that is %lu
15 long stored in %lu bytes.\n", line, l, cap);
16 printf("Input contains %d words.\n", wc);
17 free(line); // proměnná je alokována dynamicky.
18 return EXIT_SUCCESS;
19 }

```

```

1 $ clang -g wc-clean.c && ./a.out <in.txt
2 DEBUG: Read line "I like prp!"
3 " that is 12 long stored in 16 bytes.
4
5 # Načtený řetězec obsahuje 11 znaků, konec řádku, a '\0'.
6 # Celkem funkce getline() alokovala 16 bytů.
7 # Program můžeme upravit pro načítání souboru voláním fopen().
8
9 int main(int argc, char *argv[])
10 {
11 char *line = NULL; // nezbytné k alokaci v getline()
12 FILE *fd = argc > 1 ? fopen(argv[1], "r") : NULL;
13 size_t cap = 0; // alokována kapacita v getline()
14 ssize_t l = getline(&line, &cap, fd ? fd : stdin);
15
16 $ clang -g wc-file.c && ./a.out in.txt
17 DEBUG: Read line "I like prp!"
18 " that is 12 long stored in 16 bytes.
19 Input contains 3 words.

```

- Funkce `getline()` načítá řádek ze souboru, argument `FILE * restrict stream`, používáme `stdin`.
- Funkce načte řádek včetně oddělovače řádků, tj. `'\n'`.

- V uvedeném příkladu ztrácíme informaci o chybě načtení souboru.
- Je vhodné explicitně reagovat.
- V programu netestujeme interpunkční znaménka, která jsou součástí slov, ani předložky. Funkcionalitu implementujte!

# Kódovací příklad – Textové řetězce – strwc() 1/2

- Implementujeme funkci, která vrátí počet slov v řetězci.
- Slovo interpretujeme jako souvislou sekvenci znaků vyhovující funkci `isalpha()` z knihovny `ctype.h`.

```

1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3 #include <stdbool.h>
4 #include <ctype.h>
5
6 int main(void)
7 {
8 int c, wc = 0;
9 bool inword = false;
10 while ((c = getchar()) != EOF) {
11 if (isalpha(c)) {
12 if (!inword) {
13 inword = true;
14 wc += 1;
15 }
16 } else {
17 inword = false;
18 }
19 }
20 printf("Input contains %d words.\n", wc);
21 return EXIT_SUCCESS;
22 }

```

```

1 $ cat in.txt
2 I like prp!
3 $ clang -g wc.c && ./a.out < in.txt
4 Input contains 3 words.

```

- Po počátečním odladění implementujeme funkci `strwc()`.

```

1 int strwc(const char *str)
2 {
3 int wc = 0;
4 bool inword = false;
5 const char *cur = str;
6 while (cur && *cur != '\0') {
7 if (isalpha(*cur)) {
8 if (!inword) {
9 inword = true;
10 wc += 1;
11 }
12 } else {
13 inword = false;
14 }
15 cur += 1;
16 }
17 return wc;
18 }

```

- Řádky 14–17 můžeme nahradit následujícím řádkem.  
`!inword && (wc++) && inword++;`

# Kódovací příklad – Textové řetězce – strsplit() 1/2

- Implementujeme funkci, která rozdělí daný řetězec na dva dle zadaného řetězce. **Všimněte si rozdílů ukazatelů!**

```

1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3 #include <string.h>
4 #include "my_malloc.h"
5
6 int main(void)
7 {
8 const char *str = "I like programming and PRP
9 especially!";
10 char *s1, *s2;
11 char *delim = "and";
12 char *s = strstr(str, delim);
13 s1 = s2 = NULL;
14 if (s) { // podřetězec (little) nalezen (v big)
15 fprintf(stderr, "D: str %lu\n", strlen(str));
16 fprintf(stderr, "D: delim %lu\n", strlen(delim));
17 fprintf(stderr, "D: s %lu\n", strlen(s));
18 fprintf(stderr, "D: (s - str) %lu\n", s - str);
19 // rozdíl ukazatelů. Oba odkazují do identického
20 // souvislého bloku paměti.
21 size_t n1 = strlen(str) - strlen(s);
22 size_t n2 = strlen(s);

```

```

25 s1 = myMalloc((n1 + 1) * sizeof(char), __FILE__, __LINE__);
26 s2 = myMalloc((n2 + 1) * sizeof(char), __FILE__, __LINE__);
27 strncpy(s1, str, n1); // Kopírujeme nejvýše n1 znaků
28 strncpy(s2, s, n2); // Kopírujeme nejvýše n2 znaků (a '\0')
29 }
30
31 printf("String: \"%s\"\n", str); // Vstupní řetězec
32 printf("s1: \"%s\"\n", s1); // 1. část
33 printf("s2: \"%s\"\n", s2); // 2. část
34 free(s1); // volání free(NULL) je v pořádku
35 free(s2); // program končí, nemusíme nastavovat s1 = s2 = NULL
36 return EXIT_SUCCESS;
37 }

```

- Začátek řetězce v řetězci najdeme funkcí `strstr()`.  
`char* strstr(const char *big, const char *little)`

- Při implementaci použijeme ladící výstupy na `stderr`.
- Program odladíme a přepíšeme do funkce.

```

1 $ clang strsplit.c my_malloc.c && ./a.out
2 D: str 38
3 D: delim 3
4 D: s 19
5 D: (s - str): 19
6 String: "I like programming and PRP especially!"
7 s1: "I like programming "
8 s2: "and PRP especially!"

```

## Kódovací příklad – Textové řetězce – strsplit() 2/2

```

1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3 #include <string.h>
4 #include <stdbool.h>
5 #include "my_malloc.h"
6 bool strsplit(const char *str, const char *delim, char
7 **s1, char **s2);
8
9 int main(void)
10 {
11 const char *str = "I like programming and PRP
12 especially!";
13 char *delim = "and";
14 char *s1, *s2;
15 strsplit(str, delim, &s1, &s2);
16 printf("String: \"%s\"\n", str);
17 printf("s1: \"%s\"\n", s1);
18 printf("s2: \"%s\"\n", s2);
19 free(s1); // it is ok to call free(NULL);
20 free(s2);
21 return EXIT_SUCCESS;
22 }

```

```

1 bool strsplit(const char *str, const char *delim, char **s1, char **s2)
2 {
3 char *s = NULL;
4 if (
5 !str || !delim || !s1 || !s2 // Inverze, podmínka na argumenty
6 || !(s = strstr(str, delim)) // Podřetězec nalezen.
7) {
8 return false;
9 }
10 size_t l2 = strlen(s); // Předpokládáme null-terminated řetězce.
11 size_t l1 = strlen(str) - l2; // strlen(str) >= l2
12 *s1 = myMalloc((l1 + 1) * sizeof(char), __FILE__, __LINE__);
13 *s2 = myMalloc((l2 + 1) * sizeof(char), __FILE__, __LINE__);
14 strncpy(*s1, str, l1);
15 strncpy(*s2, s, l2);
16 return true;
17 }

```

```

1 $ clang -g strsplit.c my_malloc.c && ./a.out
2 String: "I like programming and PRP especially!"
3 s1: "I like programming "
4 s2: "and PRP especially!"

```

- Začátek řetězce v řetězci najdeme funkcí `strstr()`.  
`char* strstr(const char *big, const char *little)`  
 Viz man `strstr`.
- Při implementaci můžeme ladit programem `valgrind`.  
 Nicméně ne vždy detekuje možné problémy správně.
- Funkci `strsplit()` můžeme dále doplnit, např. o rozdělení bez `delim`.

## Kódovací příklad – „String objekt“

- S využitím složeného typu a ukazatele na funkci implementujeme variantu objektu textového řetězce.

```

1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3 #include <string.h>
4 #include <stdbool.h>
5 #include "my_malloc.h"
6 typedef struct string {
7 char *str;
8 ssize_t len;
9 size_t (*getLength)(const char *);
10 } string;
11
12 bool string_create(struct string *s, const char *v);
13 void string_destroy(struct string *s);
14 int main(void)
15 {
16 string string = { .str = NULL, .len = 0, .getLength = &strlen };
17 string_create(&string, "I like PRP!");
18 printf("String str: \"%s\"\n", string.str);
19 printf("String length is %lu\n", string.getLength(string.str));
20 printf("strlen length is %lu\n", strlen(string.str));
21 string_destroy(&string);
22 return EXIT_SUCCESS;
23 }

```

```

33 bool string_create(struct string *s, const char *v)
34 {
35 if (!s) {
36 return false;
37 }
38 s->len = strlen(v);
39 s->str = myMalloc((s->len + 1) * sizeof(char),
40 __FILE__, __LINE__);
41 strncpy(s->str, v, s->len);
42 return true;
43 }
44 void string_destroy(struct string *s)
45 {
46 if (s) {
47 free(s->str);
48 s->len = 0;
49 }
50 }

```

```

1 $ clang stobj.c my_malloc.c && ./a.out
2 String str: "I like PRP!"
3 String length is 11
4 strlen length is 11

```

## Kódovací příklad – Knihovna – strings.h

- Implementované funkce `toupper()`, `strrev()`, `strwc()`, `strsplit()` vložíme do knihovny `strings.h` a `strings.c`.
- Do knihovny vložíme lokální verzi funkce `myMalloc()`, kterou definujeme jako `static` v souboru `strings.c`.

```

1 #ifndef __STRINGS_H__
2 #define __STRINGS_H__
3 #include <stdbool.h> // Protože bool v strsplit()
4 char* strtoupper(const char *str);
5 char* strrev(const char *str);
6 int strwc(const char *str);
7 bool strsplit(const char *str, const char *delim, char
8 **s1, char **s2);
9 #endif

```

```

1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3 #include "strings.h"
4 int main(void)
5 {
6 char *line = NULL;
7 size_t cap = 0;
8 ssize_t l = getline(&line, &cap, stdin); //see getline
9 int wc = strwc(line);
10 fprintf(stderr, "DEBUG: Read line \"%s\" that is %lu long stored in
11 %lu bytes.\n", line, l, cap);
12 printf("Input contains %d words.\n", wc);
13 free(line);
14 return EXIT_SUCCESS;
15 }

```

```

1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3 #include <string.h>
4 #include <ctype.h>
5 #include <stdbool.h>
6 #include "strings.h"
7
8 static void* myMalloc(size_t size, const char *filename,
9 int line) { ... } // folded
10 char* strtoupper(const char *str) { ... } // folded
11 char* strrev(const char *str) { ... } // folded
12 int strwc(const char *str) { ... } // folded strings.c

```

```

1 $ clang -Wall -c strings.c -o strings.o
2 $ ar -rcs libstrings.a strings.o
3 $ clang demo-wc.c -lstrings -L. -o demo-wc
4 $./demo-wc < in.txt
5 DEBUG: Read line "I like prp!"
6 " that is 12 long stored in 16 bytes.
7 Input contains 3 words.

```