Pole, ukazatel, textový řetězec, vstup a výstup programu

Jan Faigl

Katedra počítačů
Fakulta elektrotechnická
České vysoké učení technické v Praze

Přednáška 05

B0B36PRP – Procedurální programování

Přehled témat

- Část 1 – Pole, ukazatele a řetězce
  - Pole
  - Ukazatele
  - Funkce a předávání parametrů
  - Vstup a výstup programu
  - Ukazatele a pole
  - Textové řetězce

  S. G. Kochan: kapitoly 7, 10, 11
- Část 2 – Zadání 4. domácího úkolu (HW04)

Část I

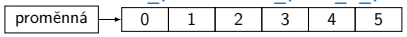
Pole a ukazatele

Pole

- Datová struktura pro uložení **více hodnot stejného typu**.
- Slouží k reprezentaci posloupnosti hodnot v paměti. *Hodnoty uloženy v souvislém bloku paměti.*
- Jednotlivé prvky mají identickou velikost a jejich relativní adresa vůči počátku pole je jednoznačně určena.
  - Prvky můžeme adresovat pořadím prvku v poli.

Relativní „adresa" vůči prvnímu prvku.

„adresa"=velikost_prvku * index_prvku_v_poli



- Proměnná typu pole reprezentuje adresu vyhrazeného paměťového prostoru, kde jsou hodnoty uloženy.

  Adresa_prvku = adresa_prvního_prvku + velikost_typu * index_prvku_v_poli
- Definicí proměnné dochází k alokaci paměti pro uložení definovaného počtu hodnot příslušného typu.
- Velikost pole statické délky nelze měnit.

Garance souvislého přístupu k položkám pole.

Definice pole

- Hodnota proměnné typu pole je odkaz (adresa) na místo v paměti, kde je pole uloženo.
- Definice proměnné typu pole se skládá z typu prvků, jména proměnné a hranatých závorek []

typ proměnná [];

- Závorky [] slouží také k přístupu (adresaci) prvku.

proměnná_typu_pole [index_prvku_pole]

Příklad definice proměnné typu pole hodnot typu `int`. Alokace paměti pro až 10 prvků pole.

Tj. 10 × `sizeof(int)`

```
int array[10];

printf("Size of array %lu\n",  sizeof(array));
printf("Item %i of the array is %i\n", 4, array[4]);
```

```
Size of array 40
Item 4 of the array is -5728
```

Hodnoty pole nejsou inicializovány!

Pole (array)

- Pole je posloupnost prvků **stejného typu**.
- K prvkům pole se přistupuje pořadovým číslem prvku.
- **Index prvního prvku je** vždy roven **0**.
- Prvky pole mohou být proměnné libovolného typu.

I strukturované typy, viz další přednáška.

- Pole může být jednorozměrné nebo vícerozměrné.

Pole poli (. . .) prvků stejného typu.

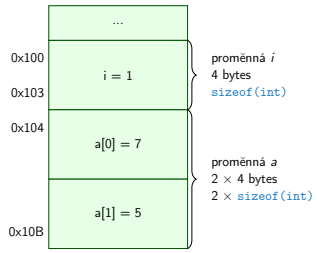
- Prvky pole určuje: **jméno**, **typ**, **počet prvků**.
- Prvky pole tvoří v paměti souvislou oblast!
- Velikost pole (v bajtech) je dána počtem prvků pole *n* a typem prvku, tj. `n * sizeof(typ)`.
- Textový řetězec je pole typu `char`, kde poslední prvek je `'\0'`.

C nekontroluje za běhu programu, zdali je index platný!

Pole – Příklad vizualizace alokace přirazení hodnot

- Proměnná typu pole odkazuje na začátek paměti, kde jsou alokovány jednotlivé prvky pole.
- Přístup k prvkům je prostřednictvím indexového operátoru [], který určí adresu konkrétního prvku pole z typu proměnné.

```
1  int i;
2  int a[2];
3
4  i = 1;
5
6  a[1] = 5;
7  a[0] = 7;
```



Pro účely vizualizace začíná alokace proměnných na adrese 0x100. Automatické proměnné na zásobníku jsou však zpravidla alokovány od horní adresy k adresám nižším.

Pole – Příklad 1/3

- Definice jednorozměrného a dvourozměrného pole.

```
/* jednorozmerne pole prvku typu char */
char simple_array[10];

/* dvourozmerne pole prvku typu int */
int two_dimensional_array[2][2];
```

- Přístup k prvkům pole `m[1][2] = 2*1;`
- Příklad definice pole a tisk hodnot prvků

```
1  #include <stdio.h>
2
3  int main(void)
4  {
5     int array[5];
6
7     printf("Size of array: %lu\n", sizeof(array));
8     for (int i = 0; i < 5; ++i) {
9        printf("Item[%i] = %i\n", i, array[i]);
10    }
11    return 0;
12 }
```

```
Size of array: 20
Item[0] = 1
Item[1] = 0
Item[2] = 740314624
Item[3] = 0
Item[4] = 0
```

lec05/array.c

Pole – Příklad 2/3 – Definice pole

```
1  #include <stdio.h>
2
3  int main(void)
4  {
5     int array[10];
6
7     for (int i = 0; i < 10; i++) {
8        array[i] = i;
9     }
10
11    int n = 5;
12    int array2[n * 2];
13
14    for (int i = 0; i < 10; i++) {
15       array2[i] = 3 * i - 2 * i * i;
16    }
17
18    printf("Size of array: %lu\n", sizeof(array));
19    for (int i = 0; i < 10; ++i) {
20       printf("array[%i]=%+2i \t array2[%i]=%6i\n", i, array[i], i,
       array2[i]);
21    }
22    return 0;
23 }
```

```
Size of array: 40
array[0]=+0     array2[0]=     0
array[1]=+1     array2[1]=     1
array[2]=+2     array2[2]=    -2
array[3]=+3     array2[3]=    -9
array[4]=+4     array2[4]=   -20
array[5]=+5     array2[5]=   -35
array[6]=+6     array2[6]=   -54
array[7]=+7     array2[7]=   -77
array[8]=+8     array2[8]=  -104
array[9]=+9     array2[9]=  -135
```

lec05/demo-array.c

Pole – Příklad 3/3 – Definice pole s inicializací

```
1  #include <stdio.h>
2
3  int main(void)
4  {
5      int array[5] = {0, 1, 2, 3, 4};
6
7      printf("Size of array: %lu\n", sizeof(array));
8      for (int i = 0; i < 5; ++i) {
9          printf("Item[%i] = %i\n", i, array[i]);
10     }
11     return 0;
12 }
```

```
Size of array: 20
Item[0] = 0
Item[1] = 1
Item[2] = 2
Item[3] = 3
Item[4] = 4
```

lec05/array-init.c

- Inicializace pole

```
double d[] = { 0.1, 0.4, 0.5 }; // inicializace pole hodnotami

char str[] = "hallo"; // inicializace pole textovým literálem

char s[] = { 'h', 'a', 'l', 'l', 'o', '\0' }; //inicializace prvků

int m[3][3] = { { 1, 2, 3 }, { 4 , 5 , 6 }, { 7, 8, 9 } };

char cmd[][10] = { "start", "stop", "pause" };
```


Pole variabilní délky

- C99 umožňuje definovat tzv. pole variabilní délky – délka pole je určena za běhu programu.

  V předchozích verzích bylo nutné znát délku při kompilaci.
- Délka pole tak může být, např. argument funkce.

```
void fce(int n)
{
   // int local_array[n] = { 1, 2 }; inicializace není dovolena
   int local_array[n]; // variable length array

   printf("sizeof(local_array) = %lu\n", sizeof(local_array));
   printf("length of array = %lu\n", sizeof(local_array) / sizeof(int));
   for (int i = 0; i < n; ++i) {
      local_array[i] = i * i;
   }
}
int main(int argc, char *argv[])
{
   fce(argc);
   return 0;
}
```

lec05/fce_var_array.c

- Pole variabilní délky však nelze v definici incializovat.

Pole ve funkci a jako argument funkce

- Lokálně definované pole ve funkci má rozsah platnosti pouze v rámci funkce (bloku).

```
void fce(int n)
{
   int array[n];
   // počítání s array
   {
      int array2[n*2];
   } // po skončení bloku array2 automaticky zaniká
   // zde již není array2 přístupné
} // po skončení funkce, pole array automaticky zaniká
```

  - Pole je automaticky vytvořeno a po skončení bloku (funkce) automaticky zaniká (paměť je uvolněna).

    Více o paměťových třídách na 6. přednášce.
  - Lokální proměnné jsou ukládány na tzv. zásobník, který má zpravidla relativně malou velikost, proto pro velká pole může být vhodnější alokovat paměť dynamicky a použít ukazatele.
- Pole může být argumentem funkce

```
void fce(int array[]);
```

  hodnota je však předávána jako **ukazatel!**

Ukazatel (pointer)

- Ukazatel (pointer) je proměnná jejíž **hodnota je adresa** paměti jiné proměnné.
- Pointer *odkazuje* na jinou proměnnou.

  Odkazuje na oblast paměti, kde je uložena hodnota proměnné
- **Ukazatel má typ** proměnné, na kterou může ukazovat.

  Důležité pro ukazatelovou aritmetiku
  - Ukazatel na hodnoty (proměnné) základních typů: `char`, `int`, ...
  - *„Ukazatel na pole"; ukazatel na funkci; ukazatel na ukazatele*
- Ukazatel může být též bez typu (**void**).
  - Velikost proměnné nelze z vlastnosti ukazatele určit.
  - Pak může obsahovat adresu libovolné proměnné.
- Prázdná adresa ukazatele je definovaná hodnotou konstanty **NULL**.

  Textová konstanta (makro) preprocesoru definovaná jako *„null pointer constant"*.

  C99 – lze též použít „int" hodnotu 0

C za běhu programu nekontroluje platnost adresy (hodnoty) ukazatele.

Ukazatele umožňují psát efektivní kódy, při neobezřetném používání mohou vést k chybám. Proto je důležité osvojit si princip nepřímého adresování a pochopit organizaci a přístup do paměti.

Referenční a dereferenční operátor

- **Referenční operátor – &**
  - Vrací adresu paměti, kde je uložena hodnota proměnné, před kterou je uveden.

    &proměnná
- **Dereferenční operátor – ***
  - Vrací **l-hodnotu** (l-value) odpovídající hodnotě na adrese ukazatele.

    ***proměnná_typu_ukazatel**
  - Umožňuje číst a zapisovat hodnotu na adrese dané obsahem ukazatele, např. ukazatel na hodnotu typu `int` (tj. `int *p`).

```
*p = 10; // zápis hodnoty 10 na adresu uloženou v proměnné p

int a = *p; // čtení hodnoty z adresy uložené v p
```

- Pro tisk hodnoty ukazatele (adresy) lze ve funkci `printf()` použít řídicí řetězec `"%p"`.

```
int a = 10;
int *p = &a;

printf("Value of a %i, address of a %p\n", a, &a);
printf("Value of p %p, address of p %p\n", p, &p);
```

```
Value of a 10, address of a 0x7fffffffe95c
Value of p 0x7fffffffe95c, address of p 0x7fffffffe950
```

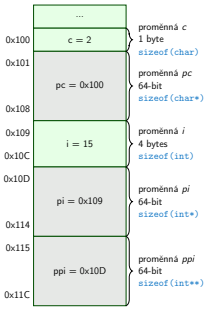

Proměnné typu ukazatel (pointer) – příklady

```
int i = 10; /* i -- promenna typu int
               &i -- adresa promenne i */

int *pi;    /* definice promenne typu pointer
                  pi -- pointer na promenou typu int
                 *pi -- promenna typu int */

pi = &i;    /* do pi se ulozi adresa promenne i */

int b;      /* promenna typu int */

b = *pi;    /* do promenne b se ulozi obsah adresy
               ulozene v ukazeteli pi                */
```


Ukazatele – Příklad vizualizace alokace přirazení hodnot

```
1  char c;
2
3  c = 10;
4
5  char *pc;
6
7  pc = &c;
8
9  int i = 17;
10 int *pi = &i;
11
12 *pi = 15;
13 *pc = 2;
14
15 int **ppi = &pi;
```

Pro účely vizualizace začíná alokace proměnných na adrese 0x100. Automatické proměnné na zásobníku jsou však zpravidla alokovány od horní adresy k adresám nižším.



- Ukazatele jsou proměnné, které uchovávají adresy jiných proměnných.

Ukazatel (pointer) – příklady 2/2

```
printf("i: %d -- pi: %p\n", i, pi); // 10 0x7fffffffe8fc
printf("&i: %p -- *pi: %d\n", &i, *pi); // 0x7fffffffe8fc 10
printf("*(&)i: %d -- &(*pi): %p\n", *(&i), &(*pi));

printf("i: %d -- *pj: %d\n", i, *pj);   // 10 10
i = 20;
printf("i: %d -- *pj: %d\n", i, *pj);   // 20 20

printf("sizeof(i): %lu\n", sizeof(i));  // 4
printf("sizeof(pi): %lu\n", sizeof(pi));// 8

long l = (long)pi;
printf("0x%lx %p\n", l, pi); /* print l as hex  -- %lx */
// 0x7fffffffe8fc 0x7fffffffe8fc

l = 10;
pi = (int*)l; /* possible but it is nonsense */
printf("l: 0x%lx %p\n", l, pi); // 0xa 0xa
```

lec05/pointers.c

Ukazatele (pointery), proměnné a jejich hodnoty

- Proměnné jsou názvy adres, kde jsou uloženy hodnoty příslušného typu.
- Kompilátor pracuje přímo s adresami.

  Přestože se v případě kompilace zpravidla jedná o adresy relativní.
- Ukazatel (pointer) je proměnná, ve které je uložena adresa. Na této adrese se pak nachází hodnota nějakého typu (např. `int`).
- Ukazatele realizují tzv. **nepřímé adresování** (**indirect addressing**).
- Dereferenční operátor * přistupuje na proměnnou adresovanou hodnotou ukazatele.
- Operátor & vrací adresu, kde je uložena hodnota proměnné.

Ukazatele (pointery) a kódovací styl

- Typ ukazatel se značí symbolem `*`.
- `*` můžeme zapisovat u jména typu nebo jména proměnné.
- Preferujeme zápis u proměnné, abychom předešli omylům.

```
char* a, b, c;          char *a, *b, *c;
```

Pointer je pouze a *Všechny tři proměnné jsou ukazatele*

- Zápis typu ukazatele na ukazatel `char **a;`.
- Zápis pouze typu (bez proměnné): `char*` nebo `char**`.
- Ukazatel na proměnnou prázdného typu zapisujeme jako `void *ptr`.
- Prokazatelně neplatná adresa má symbolické jméno `NULL`.

Definovaná jako makro preprocesoru (C99 lze použít 0).

- Proměnné v C nejsou automaticky inicializovány a ukazatele tak mohou odkazovat na neplatnou paměť, proto může být vhodné explicitně inicializovat ukazatele na `0` nebo `NULL`.

Např. `int *i = NULL;`

Funkce a předávání parametrů

- V C jsou **parametry funkce předávány hodnotou**.
- Parametry jsou lokální proměnné funkce (alokované na zásobníku), které jsou inicializované na hodnotu předávanou funkci.

Více o volání funkcí a paměti v 6. přednášce.

```
void fce(int a, char *b)
{ /*
 a - je lokalni promena typu int (ulozena na zasobniku)
 b - je lokalni promena typu ukazatel na promenou
     typu char (hodnota je adresa a je take na zasobniku)*/
}
```

- Lokální změna hodnoty proměnné neovlivňuje hodnotu proměnné vně funkce.
- Při předání ukazatele, však máme přístup na adresu původní proměnné, kterou můžeme měnit.
- **Ukazatelem tak realizujeme volání odkazem.**

Funkce a předávání parametrů – příklad

- Proměnná `a` realizuje **volání hodnotou**, proměnná `b` realizuje *„volání odkazem“*.

```
void fce(int a, char* b)
{
   a += 1;
   (*b)++;
}
int a = 10;
char b = 'A';
printf("Before call a: %d b: %c\n", a, b);
fce(a, &b);
printf("After call a: %d b: %c\n", a, b);
```

- Výstup

```
Before call a: 10 b: A
After call a: 10 b: B
```

lec05/function_call.c

Funkce `main` a její tvary

- Základní tvar funkce `main`

```
int main(int argc, char *argv[]) { ... }
```

- Alternativně pak také

```
int main(int argc, char **argv) { ... }
```

- Argumenty funkce nejsou nutné

```
int main(void) { ... }
```

- Rozšířená funkce o nastavení proměnných prostředí

Pro Unix a MS Windows

```
int main(int argc, char **argv, char **envp) { ... }
```

Přístup k proměnným prostředí funkcí `getenv()` *z knihovny* `<stdlib.h>`.

lec05/main_env.c

- Rozšířená funkce o specifické parametry Mac OS X

```
int main(int argc, char **argv, char **envp, char **apple);
```


Argumenty funkce `main`

- Základní tvar funkce `main`

```
int main(int argc, char *argv[]) { ... }
```

- `argc` – obsahuje počet argumentů programu *Včetně jména spouštěného programu*
  - Argumenty jsou textové řetězce oddělené mezerou (bílým znakem)
- `argv` – pole ukazatelů na hodnoty typu `char` *Typ „čteme“ zprava doleva*
  - Pole `argv` má velikost (počet prvku) daný hodnotou `argc`.
  - Každý prvek pole `argv[i]` obsahuje adresu, kde je uložen textový řetězec argumentu (tj. typ `char*`).
  - Textový řetězec (argument) je posloupnost znaků (typ `char`) zakončený znakem `'\0'`.

„null character“ – konec textového řetězce

  - Alokace paměti pro uložení argumentů (textových řetězců) je provedena při spuštění programu.

V případě programu pro OS zajišťuje zavaděč programu („loader“) a standardní knihovna C.

Předávání parametrů programu

- Při spuštění programu můžeme předat parametry programu prostřednictvím argumentů.

```
1  #include <stdio.h>
2
3  int main(int argc, char *argv[])
4  {
5     printf("Number of arguments %i\n", argc);
6     for (int i = 0; i < argc; ++i) {
7        printf("argv[%i] = %s\n", i, argv[i]);
8     }
9     return argc > 0 ? 0 : 1;
10 }
```

```
clang demo-arg.c -o arg

./arg one two three

Number of arguments 4
argv[0] = ./arg
argv[1] = one
argv[2] = two
argv[3] = thre
```

lec05/demo-arg.c

- Voláním `return` ve funkci `main()` vracíme z programu návratovou hodnotu, se kterou můžeme dále pracovat. *Např. v interpretu příkazů (shellu).*

```
./arg >/dev/null; echo $?
1

./arg first >/dev/null; echo $?
0
```

  - Návratová hodnota programu je uložena v proměnné `$?`, kterou lze vypsat příkazem `echo`.
  - `>/dev/null` přesměruje standardní výstup do `/dev/null`.

Interakce programu s uživatelem

- Funkce `int main(int argc, char *argv[])`
  - Při spuštění programu lze předat parametry (textové řetězce).
  - Při ukončení programu lze předat návratovou hodnotu.

Konvence 0 bez chyb, ostatní hodnoty chybový kód.

  - Při běhu programu lze číst ze standardního vstupu a zapisovat na standardní výstup.

Např. `scanf()` *nebo* `printf()`

  - Při spuštění programu lze vstup i výstup přesměrovat z/do souboru.

Program tak nečeká na vstup uživatele (stisk klávesy „Enter“).

  - Každý program (terminálový) má standardní vstup (**stdin**) a výstup (**stdout**) a dále pak standardní chybový výstup (**stderr**), které lze v shellu přesměrovat.

```
./program <stdin.txt >stdout.txt 2>stderr.txt
```

  - Alternativou k `scanf()` a `printf()` lze využít `fscanf()` a `fprintf()`.
    - Funkce mají první argument soubor jinak, je syntax identická.
    - Soubory/proudy `stdin`, `stdout` a `stderr` jsou definovány v `<stdio.h>`.

Příklad programu s výstupem na `stdout` a přesměrováním

```
1  #include <stdio.h>
2
3  int main(int argc, char *argv[])
4  {
5     int ret = 0;
6
7     fprintf(stdout, "Program has been called as %s\n", argv[0]);
8     if (argc > 1) {
9        fprintf(stdout, "1st argument is %s\n", argv[1]);
10    } else {
11       fprintf(stdout, "1st argument is not given\n");
12       fprintf(stderr, "At least one argument must be given!\n");
13       ret = -1;
14    }
15    return ret;
16 }
```

lec05/demo-stdout.c

- Příklad výstupu – `clang demo-stdout.c -o demo-stdout`

```
./demo-stdout;  echo $?
Program has been called as ./demo-stdout
1st argument is not given
At least one argument must be given!
255
```

```
./demo-stdout 2>stderr
Program has been called as ./demo-stdout
1st argument is not given

./demo-stdout ARGUMENT 1>stdout; echo $?
0
```


Pointery a pole

- Pointer ukazuje na vyhrazenou část paměti proměnné.

Předpokládáme správné použití

- Pole je označení souvislého bloku paměti.

```
int *p; //ukazatel (adresa) kde je ulozena hodnota int
int a[10]; //souvisly blok pameti pro 10 int hodnot

sizeof(p); //pocet bytu pro ulozeni adresy (8 pro 64bit)
sizeof(a); //velikost alokovaneho pole je 10*sizeof(int)
```

- Obě proměnné odkazují na paměť, kompilátor s nimi však pracuje **rozdílně**.
  - Proměnná typu pole je symbolické jméno pro místo v paměti, kde jsou uloženy hodnoty prvků pole. *Kompilátor nahrazuje jméno přímo paměťovým místem.*
  - Ukazatel obsahuje adresu, na které je příslušná hodnota (nepřímé adresování).
- **Při předávání pole jako parametru funkce je předáváno pole jako pointer (ukazatel).**

Viz kompilace souboru `main_env.c` *překladačem* `clang`

Příklad kompilace funkce s předáváním pole 1/2

- Argument funkce je pole.

```
1  void fce(int array[])
2  {
3     int local_array[] = { 2, 4, 6 };
4     printf("sizeof(array) = %lu -- sizeof(local_array) = %lu\n",
5     sizeof(array), sizeof(local_array));
6     for (int i = 0; i < 3; ++i) {
7        printf("array[%i]=%i local_array[%i]=%i\n", i, array[i], i, local_array[i]);
8     }
9  }
10 ...
11 int array[] = { 1, 2, 3 };
12 fce(array);
```

lec05/fce_array.c

- Po překladu (gcc -std=c99) na amd64
  - sizeof(array) vrátí velikost 8 bajtů (64-bitová adresa)
  - sizeof(local_array) vrátí velikost 12 bajtů (3×4 bajty – int)
- Pole se funkcím předává jako ukazatel na první prvek.

Příklad kompilace funkce s předáváním pole 2/2

- Kompilátor clang (ve výchozím nastavení) upozorňuje na záměnu int* za int[].

```
clang fce_array.c
fce_array.c:7:16: warning: sizeof on array function parameter will return size
      of 'int *' instead of 'int []' [-Wsizeof-array-argument]
         sizeof(array), sizeof(local_array));
                ^
fce_array.c:3:14: note: declared here
void fce(int array[])
             ^
1 warning generated.
```

lec05/fce_array.c

- Program lze zkompilovat, ale u předávaného pole se nelze spoléhat na velikost sizeof.
- Ukazatel nenese informaci o velikosti alokované paměti!

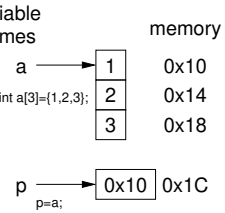
Pole ano „hlídá za nás kompilátor".

Ukazatele a pole

- Proměnná pole int a[3] = {1,2,3};

  a odkazuje na adresu prvního prvku pole.
- Proměnná ukazatel int *p = a;

  Ukazatel p obsahuje adresu prvního prvku pole.
- Hodnota a[0] přímo reprezentuje hodnotu na adrese 0x10.
- Hodnota p je adresa 0x10, kde je uložena hodnota prvního prvku pole.
- Přiřazení p = a je legitimní.



Kompilátor zajistí přiřazení adresy prvního prvku do ukazatele.

- Přístup ke druhému prvku lze a[1] nebo p[1].
- Oběma přístupy se dostaneme na příslušné prvky pole, způsob je však odlišný — ukazatele využívají tzv. *pointerovou aritmetiku*.

http://eli.thegreenplace.net/2009/10/21/are-pointers-and-arrays-equivalent-in-c

Ukazatelová (pointerová) aritmetika

- S ukazately (pointery) lze provádět aritmetické operace + a -, tj. přičítat nebo odčítat celé číslo.
  - ukazatel = ukazatel stejného typu + (nebo -) a celé číslo (int).
  - Nebo lze používat zkrácený zápis např. ukazatel += 1 a unární operátory např. ukazatel++.
- Aritmetické operace jsou užitečné pokud ukazatel odkazuje na více položek daného typu (souvislý blok paměti).
  - Např. pole položek příslušného typu;
  - Dynamicky alokovaný souvislý blok paměti.
- Přičtením hodnoty celého čísla k pointeru „posouváme" hodnotu pointeru na další prvek, např.

```
int a[10];
int *p = a;

int i = *(p+2); //odkazuje na hodnotu 3.  prvku pole a
```

  - Podle typu ukazatele se hodnota adresy příslušně zvýší.
  - (p+2) je ekvivalentní adrese p + 2*sizeof(int).
  - Příklad použití viz lec05/pointers_and_array.c

Příklad ukazatele a pole

```
1  int a[] = { 1, 2, 3, 4 };
2  int b[] = { [3] = 10, [1] = 1, [2] = 5, [0] = 0 };
       //initialization
3
4  // b = a; It is not possible to assign arrays
5  for (int i = 0; i < 4; ++i) {
6     printf("a[%i] =%3i   b[%i] =%3i\n", i, a[i], i,
        b[i]);
7  }
8
9  int *p = a; //you can use *p = &a[0], but not *p =
       &a
10 a[2] = 99;
11
12 printf("\nPrint content of the array 'a' with
       pointer arithmetic\n");
13 for (int i = 0; i < 4; ++i) {
14    printf("a[%i] =%3i   p+%i =%3i\n", i, a[i], i,
        *(p+i));
15 }
```

lec05/array_pointer.c

```
a[0] =  1   b[0] =  0
a[1] =  2   b[1] =  1
a[2] =  3   b[2] =  5
a[3] =  4   b[3] = 10

Print content of the array 'a' using
     pointer arithmetic
a[0] =  1   p+0 =  1
a[1] =  2   p+1 =  2
a[2] = 99   p+2 = 99
a[3] =  4   p+3 =  4
```


Příklad předání ukazatele na pole

- Předáním pole jako ukazatele nemáme informaci o počtu prvků.
- Proto můžeme explicitně předat počet prvků v proměnné n.

```
1  #include <stdio.h>
2
3  void fce(int n, int *array) // array je lokální proměnná
4  { // typu ukazatel, můžeme změnit obsah paměti proměnné definované v main()
5     int local_array[] = {2, 4, 6};
6     printf("sizeof(array) = %lu, n = %i -- sizeof(local_array) = %lu\n",
7     sizeof(array), n, sizeof(local_array));
8     for (int i = 0; i < 3 && i < n; ++i) { //testujeme take n!
9        printf("array[%i]=%i local_array[%i]=%i\n", i, array[i], i, local_array[i]);
10    }
11 }
12 int main(void)
13 {
14    int array[] = {1, 2, 3};
15    fce(array, sizeof(array)/sizeof(int)); // pocet prvku
16    return 0;
17 }
```

lec05/fce_pointer.c

- Přes ukazatel array v fce() máme přístup do pole z main().

Příklad předání pole včetně velikosti využitím VLA

- VLA (Variable Length Array) – délka pole určena za běhu programu. Pole je však stále předáváno jako ukazatel.

  Získáváme tak především přehlednost kódu.

```
1  void print_array(int n, int a[n])
2  {
3     printf("Size of the array a is %lu\n", sizeof(a));
4     for (int i = 0; i < n; ++i) {
5        printf("array[%i]=%i\n", i, a[i]);
6     }
7  }
8
9  int main(int argc, char *argv[])
10 {
11    int n = 10;
12    if (argc > 1 && sscanf(argv[1], "%d", &n) != 1) {
13       fprintf(stderr, "Warning: cannot parse number from argv[1]!\n");
14    }
15    printf("Size of the array is %lu\n", sizeof(array));
16    int array[n]; //vla array size depends on n
17    for (int i = 0; i < n; ++i) {
18       array[i] = 2*i;
19    }
20    print_array(n, array);
21    return 0;
22 }
```

lec05/fce_vla.c

Vícerozměrná pole

- Pole můžeme definovat jako vícerozměrná, např. 2D matice.

```
int m[3][3] = {
   { 1, 2, 3 },
   { 4, 5, 6 },
   { 7, 8, 9 }
};

printf("Size of m: %lu == %lu\n", sizeof(m), 3*3*sizeof(int));

for (int r = 0; r < 3; ++r) {
   for (int c = 0; c < 3; ++c) {
      printf("%3i", m[r][c]);
   }
   printf("\n");
}
```

```
Size of m: 36 == 36
  1  2  3
  4  5  6
  7  8  9
```

lec05/matrix.c

Vícerozměrná pole a vnitřní reprezentace

- Vícerozměrné pole je vždy souvislý blok paměti.

  *Např. int a[3][3]; reprezentuje alokovanou paměti o velikosti 9*sizeof(int), tj. zpravidla 36 bytů. Operátor [] nám tak především zjednodušuje zápis programu.*

```
int *pm = (int *)m; // ukazatel na souvislou oblast m
printf("m[0][0]=%i m[1][0]=%i\n", m[0][0], m[1][0]); // 1 4
printf("pm[0]=%i pm[3]=%i\n", m[0][0], m[1][0]); // 1 4
```

lec05/matrix.c

- Dvourozměrné pole lze také definovat jako ukazatel na ukazatele (pole ukazatelů) na hodnoty konkrétního typu, např.
  - int **a; – ukazatel na ukazatele.
  - V obecném případě však takový ukazatel nemusí odkazovat na souvislou oblast, kde jsou alokovány jednotlivé prvky.
  - Proto při přístupu jako do jednorozměrného pole

    int *b = (int *)a;

    nelze garantovat přístup do druhého řádku jako v přechozím příkladě.

Pole a vícerozměrná pole jako parametr funkce

- Parametr funkce je ukazatel na pole, např. typu `int`

```
int (*p)[3] = m; // pointer to array of int
printf("Size of p: %lu\n", sizeof(p));
printf("Size of *p: %lu\n", sizeof(*p)); // 3 * sizeof(int) = 12
```

```
Size of p: 8
Size of *p: 12
```

- Funkci nelze deklarovat s argumentem typu `[][]`, např.

  `int fce(int a[][]);`

  neboť kompilátor nemůže určit adresu pro přístup na `a[i][j]`, neboť se používá adresová aritmetika odpovídající 2D poli.

  Pro `int m[row][col]` totiž `m[i][j]` odpovídá hodnotě na adrese `*(m + col * i + j)`

- Je však možné funkci deklarovat například jako
  - `int g(int a[]);` což odpovídá deklaraci `int g(int *a);`
  - `int fce(int a[][13]);` – *je znám počet sloupců*
  - nebo `int fce(int a[3][3]);`.

Inicializace pole

- Při definici můžeme hodnoty prvků pole inicializovat postupně nebo indexovaně.

  2D pole jsou inicializována po řádcích.

- Při částečné inicializaci jsou ostatní prvky nastaveny na 0.

```
#define ROWS 3
#define COLS 3
void print(int rows, int cols, int m[rows][cols])
{
   for (int r = 0; r < rows; ++r) {
      for (int c = 0; c < cols; ++c) {
         printf("%4i", m[r][c]);
      }
      printf("\n");
   }
}

int m0[ROWS][COLS];
int m1[ROWS][COLS] = { 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 };
int m2[ROWS][COLS] = { 1, 2, 3 };
int m3[ROWS][COLS] =
 { [0][0] = 1, [1][1] = 2, [2][2] = 3 };

print(ROWS, COLS, m0);
print(ROWS, COLS, m1);
print(ROWS, COLS, m2);
print(ROWS, COLS, m3);
```

```
m0 - not initialized
-584032767743694227
   0   1   0
740314624   0   0

m1 - init by rows
   1   2   3
   4   5   6
   7   8   9

m2 - partial init
   1   2   3
   0   0   0
   0   0   0

m3 - indexed init
   1   0   0
   0   2   0
   0   0   3
```

lec05/array-inits.c

Řetězcové literály

- Formát – posloupnost znaků a řídicích znaků (escape sequences) uzavřená v uvozovkách.

  `"Řetězcová konstanta s koncem řádku\n"`

  - Řetězcové konstanty oddělené oddělovači (white spaces) se sloučí do jediné, např.

    `"Řetězcová konstanta"  " s koncem řádku\n"`

    se sloučí do

    `"Řetězcová konstanta s koncem řádku\n".`

- Typ
  - Řetězcová konstanta je uložena v poli typu `char` a zakončená znakem `'\0'`.
    Např. řetězcová konstanta `"word"` je uložena jako

'w'	'o'	'r'	'd'	'\0'

Pole tak musí být vždy o 1 položku delší než je vlastní text!

Textový řetězec

- Textový řetězec můžeme inicializovat jako pole znaků, tj. `char[]`.

```
char str[] = "123";
char s[] = {'5', '6', '7' };
printf("Size of str %lu\n", sizeof(str));
printf("Size of  s  %lu\n", sizeof(s));
printf("str '%s'\n", str);
printf(" s  '%s'\n", s);
```

```
Size of str 4
Size of  s  3
str '123'
 s  '567123'
```

lec05/array_str.c

  - **Pokud není řetězec zakončen znakem `'\0'`, jako v případě proměnné `char s[]`, pokračuje výpis řetězce až do nejbližšího znaku `'\0'`.**

- Na textový řetězec lze odkazovat ukazatelem na znak `char*`.

```
char *sp = "ABC";
printf("Size of ps  %lu\n", sizeof(sp));
printf(" ps '%s'\n", sp);
```

```
Size of ps  8
 ps 'ABC'
```

  - Velikost ukazatele je 8 bytů (pro 64-bit architekturu).
  - Textový řetězec musí být zakončen znakem `'\0'`.

Alternativně lze řešit vlastní implementací s explicitním uložením délky řetězce.

Načítání textových řetězců

- Správnost alokace vstupních argumentů je zajištěna při spuštění.

  `int main(int argc, char *argv[])`

- Načtení textového řetězce funkcí `scanf()`.
  - Použitím `%s` může dojít k přepisu paměti.

```
char str0[4] = "PRP"; // +1 \0
char str1[5]; // +1 for \0
printf("String str0 = '%s'\n", str0);
printf("Enter 4 chars: ");
scanf("%s", str1);
printf("You entered string '%s'\n", str1);
printf("String str0 = '%s'\n", str0);
```

Příklad výstupu programu:

```
String str0 = 'PRP'

Enter 4 chars: 1234567
You entered string '1234567'

String str0 = '67'
```

lec05/str_scanf-bad.c

  - Načtení maximálně 4 znaků zajistíme řídicím řetězcem `"%4s"`.

```
char str0[4] = "PRP";
char str1[5];
...
scanf("%4s", str1);
printf("You entered string '%s'\n", str1);
printf("String str0 = '%s'\n", str0);
```

Příklad výstupu programu:

```
String str0 = 'PRP'
Enter 4 chars: 1234567
You entered string '1234'
String str0 = 'PRP'
```

lec05/str_scanf-limit.c

Zjištění délky textového řetězce

- Textový řetězec v C je pole (`char[]`) nebo ukazatel (`char*`) odkazující na část paměti, kde je uložena příslušná posloupnost znaků.
- Textový řetězec je zakončen znakem `'\0'`.
- Délku textového řetězce lze zjistit sekvenčním procházení znak po znaku až k `'\0'`.

```
int getLength(char *str)
{
   int ret = 0;
   while (str && (*str++) != '\0') {
      ret += 1;
   }
   return ret;
}
```

- Funkce pro práci s řetězci jsou ve standardní knihovně `<string.h>`.
- Délka řetězce – **`strlen()`**.
- **Dotaz na délku řetězce má lineární složitost $O(n)$.**

```
for (int i = 0; i < argc; ++i) {
   printf("argv[%i]: getLength = %i -- strlen = %lu\n", i, getLength(
    argv[i]), strlen(argv[i]));
}
```

lec05/string_length.c

Nebo jen `while (*str++) ret +=1;`

Práce s textovými řetězci

- V C jsou řetězce pole znaků zakončené znakem `'\0'`.
- Základní operace jsou definovány v knihovně `<string.h>`, například pro kopírování nebo porovnání řetězců.
  - `char* strcpy(char *dst, char *src);`
  - `int strcmp(const char *s1, const char *s2);`
  - Funkce předpokládají dostatečný rozsah alokovaných polí
  - Funkce s explicitním limitem na maximální délku řetězců: `char* strncpy(char *dst, char *src, size_t len); int strncmp(const char *s1, const char *s2, size_t len);`
- Převod řetězce na číslo – `<stdlib.h>`
  - `atoi()`, `atof()` – převod celého a necelého čísla
  - `long strtol(const char *nptr, char **endptr, int base);`
  - `double strtod(const char *nptr, char **restrict endptr);`

    Funkce `atoi()` a `atof()` jsou „*obsolete*", ale mohou být rychlejší.
  - Alternativně také např. `sscanf()`.

    Více viz `man strcpy, strncmp, strtol, strtod, sscanf`.

Část II

Část 2 – Zadání 4. domácího úkolu (HW04)

Zadání 4. domácího úkolu HW04

Téma: **Prvočíselný rozklad**

Povinné zadání: **2b**; Volitelné zadání: **3b**; Bonusové zadání: **5b**

- **Motivace**: Rozvinout znalost použití cyklů, proměnných a jejich reprezentace ve výpočetní úloze.
- **Cíl**: Osvojit si algoritmické řešení výpočetní úlohy .
- **Zadání**: `https://cw.fel.cvut.cz/wiki/courses/b0b36prp/hw/hw04`
  - Načtení posloupnosti kladných celých čísel (menších než 10^6) zakončených nulou a jejich rozklad na prvočinitele.
  - Volitelné zadání rozšiřuje rozsah hodnot vstupní čísel až do 10^8 (celá čísla v rozsahu 64-bitů). S ohledem na výpočetní náročnost řešení vyžaduje sofistikovanější přístup výpočtu s využitím techniky *Eratosthenova síta*.
  - Bonusové zadání dále úlohu rozšiřuje zpracování čísel s až 100 ciframi. Řešení vyžaduje implementaci *vlastní reprezentace velkých celých čísel* spolu s *operacemi* celočíselného dělením se zbytkem.
- Termín odevzdání: 31.10.2020, 23:59:59 PST.
- Bonusová úloha: 09.01.2021, 23:59:59 PST.

PST – Pacific Standard Time

Shrnutí přednášky

Diskutovaná témata

- Jednorozměrná a vícerozměrná pole a jejich inicializace
- Ukazatel
- Textový řetězec
- Rozdíl mezi polem a ukazatelem
- Předávání polí funkcím
- Vstup a výstup programu - argumenty programy a návratová hodnota

- Příště: Ukazatele, paměťové třídy a volání funkcí