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

  P. Herout: kapitola 10, 11, 12, 13

- Část 2 – Zadání 4. domácího úkolu (HW04)

Část I

Pole a ukazatele

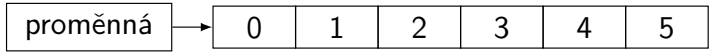
Pole

- 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

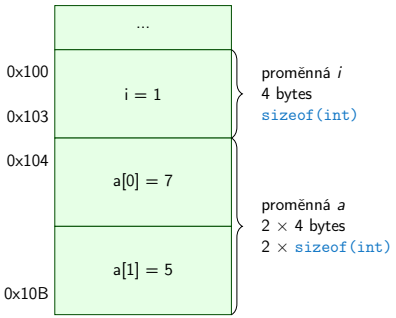
  Pole polí (. . .) prvků stejného typu.
- Prvky pole určuje: **jméno**, **typ**, **počet prvků**
- Prvky pole tvoří v paměti souvislou oblast!
- Velikost pole (v bajtech) je dána počtem prvků pole *n* a typem prvku, tj. `n * sizeof(typ)`
- Textový řetězec je pole typu `char`, kde poslední prvek je `'\0'`

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

- Příklad 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

- Příklad 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 např. být 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
```

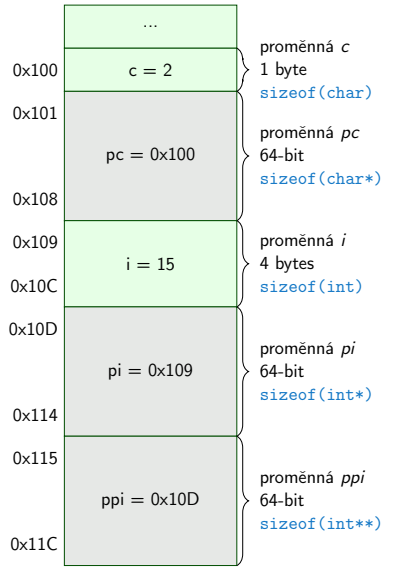

Proměnné typu ukazatel (pointer) – příklady

```
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

- Ukazatele jsou proměnné, které uchovávají adresy jiných proměnných

```
1  char c;
2
3  c = 10;
4
5  char *pc;
6
7  pc = &c;
8
9  int i = 17;
10 int pi = &a;
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.

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;` *Pointer je pouze a* `char *a, *b, *c;` *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 `stdin`, `stdout` a `stderr` jsou definována 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 nelze se spoléhat na velikost `sizeof`
- Ukazatel nenese informaci o velikosti alokované paměti!

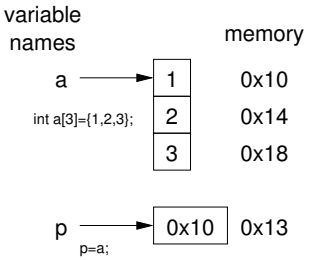
Pole ano „hlídá za nás kompilátor".

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 1. prvku pole.
- Přiřazení `p = a` je legitimní

Kompilátor zajistí přiřazení adresy prvního prvku do ukazatele.

- Přístup k 2. prvku lze použít jak `a[1]` tak `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 }
```

```
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
```

lec05/array_pointer.c

Příklad předání ukazatele na pole

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

```c
#include <stdio.h>

void fce(int n, int *array) // array je lokální proměnná
{ // typu ukazatel, můžeme změnit obsah paměti proměnné
     definované v main()
   int local_array[] = {2, 4, 6};
   printf("sizeof(array) = %lu, n = %i -- sizeof(local_array) =
     %lu\n",
   sizeof(array), n, sizeof(local_array));
   for (int i = 0; i < 3 && i < n; ++i) { //testujeme take n!
      printf("array[%i]=%i local_array[%i]=%i\n", i, array[i],
    i, local_array[i]);
   }
}
int main(void)
{
   int array[] = {1, 2, 3};
   fce(array, sizeof(array)/sizeof(int)); // pocet prvku
   return 0;
}
```

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

  Neznamená to, že můžeme měnit velikost již jednou alokovaného pole, ale že velikost při alokaci může být určena za běhu programu, např. výpočtem, uživatelským vstup atd.

- Při předání pole můžeme rovnou použít pro definici délky pole
- Pole je však stále předáváno jako ukazatel, získáváme tak především přehlednost kódu

```c
void print_array(int n, int a[n])
{
   printf("Size of the array a is %lu\n", sizeof(a));
   for (int i = 0; i < n; ++i) {
      printf("array[%i]=%i\n", i, a[i]);
   }
}

int main(int argc, char *argv[])
{
   int n = 10;
   if (argc > 1 && sscanf(argv[1], "%d", &n) != 1) {
      fprintf(stderr, "Warning: cannot parse number from argv[1]!\n");
   }
   printf("Size of the array is %lu\n", sizeof(array));
   int array[n]; //vla array size depends on n
   for (int i = 0; i < n; ++i) {
      array[i] = 2*i;
   }
   print_array(n, array);
   return 0;
}
```

lec05/fce_vla.c

Vícerozměrná pole

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

```c
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.*

```c
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 OS)
  - 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;
}

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;`

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

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)

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