

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



Obsah

Pole

Ukazatele

Funkce a předávání parametrů

Vstup a výstup programu

Ukazatele a pole

Textové řetězce



Pole

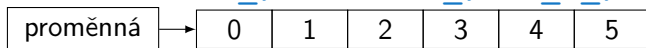
- Datová struktura pro uložení **více hodnot stejného typu**
- Slouží k reprezentaci posloupnosti hodnot v paměti

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.

```
int array[10];
```

Tj. $10 \times \text{sizeof}(\text{int})$

```
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. $n * \text{sizeof}(\text{typ})$
- Textový řetězec je pole typu **char**, kde poslední prvek je **'\0'**

C nekontroluje za běhu programu, zdali je index platný!



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,
21             array[i], i, array2[i]);
22     }
23     return 0;

```

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 – 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 inicializovat



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 5. 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!**



Obsah

Pole

Ukazatele

Funkce a předávání parametrů

Vstup a výstup programu

Ukazatele a pole

Textové řetězce



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.



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 0x7fffffff95c
Value of p 0x7fffffff95c, address of p 0x7fffffff950
```



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 0x7fffffff95c
```

```
Value of p 0x7fffffff95c, address of p 0x7fffffff950
```



Ukazatel (pointer) – příklady 1/2

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

int *pi;   /* definice promenne typu pointer */
           /* pi pointer na promenu 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 */
```



Ukazatel (pointer) – příklady 2/2

```
printf("i: %d -- pi: %p\n", i, pi); // 10 0x7fffffff8fc
printf("&i: %p -- *pi: %d\n", &i, *pi); // 0x7fffffff8fc
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 */
// 0x7fffffff8fc 0x7fffffff8fc

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;`



Obsah

Pole

Ukazatele

Funkce a předávání parametrů

Vstup a výstup programu

Ukazatele a pole

Textové řetězce



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 funkcí

Více o volání funkcí a paměti v 5. přednášce

```
void fce(int a, char *b)
{ /*
  a - je lokální proměna typu int (uložena na zásobníku)
  b - je lokální proměna typu ukazatel na proměnou
      typu char (hodnota je adresa a je také na zásobníku)
  */
}
```

- 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.



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.



Obsah

Pole

Ukazatele

Funkce a předávání parametrů

Vstup a výstup programu

Ukazatele a pole

Textové řetězce



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 vypsát 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 přesměřovat 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 přesměřovat

```
./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
```



Obsah

Pole

Ukazatele

Funkce a předávání parametrů

Vstup a výstup programu

Ukazatele a pole

Textové řetězce



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],
8             i, local_array[i]);
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 zkompileovat, 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`.

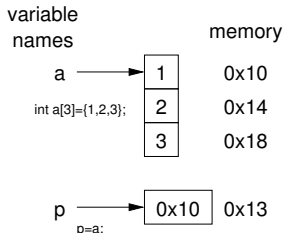
- Hodnota `p` je adresa `0x10`, kde je uložena hodnota 1. prvku pole.

- Přřazení `p = a` je legitimní

Kompilátor zajistí přřazení 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`

```
1 #include <stdio.h>
2
3 void fce(int *array, int n) // array je lokální proměnná
4 { // typu ukazatel, můžeme změnit obsah paměti proměnné
5     // definované v main()
6     int local_array[] = {2, 4, 6};
7     printf("sizeof(array) = %lu, n = %i -- sizeof(local_array) =
8         %lu\n",
9         sizeof(array), n, sizeof(local_array));
10    for (int i = 0; i < 3 && i < n; ++i) { //testujeme take n!
11        printf("array[%i]=%i local_array[%i]=%i\n", i, array[i],
12            i, local_array[i]);
13    }
14 }
15
16 int main(void)
17 {
18     int array[] = {1, 2, 3};
19     fce(array, sizeof(array)/sizeof(int)); // pocet prvku
20     return 0;
21 }
22
23                                     lec05/fce_pointer.c
```

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



Vícerozměrná pole

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

```
int m[3][3] = {                                     Size of m: 36 == 36
    { 1, 2, 3 },                                     1 2 3
    { 4, 5, 6 },                                     4 5 6
    { 7, 8, 9 }                                     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");
}
```

lec05/matrix.c



Vícerozměrná pole a vnitřní reprezentace

- Vícerozměrné pole je **vždy** souvislý blok paměti

*Např. `int a[3][3]`; reprezentuje alokovanou paměť 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           Size of p: 8
                                                    Size of *p: 12
printf("Size of p: %lu\n", sizeof(p));
printf("Size of *p: %lu\n", sizeof(*p)); // 3 * sizeof(int) = 12
```

- Funkci nelze deklarovat s argument typu `[] []` např.

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

neboť kompilátor nemůže správně spočítat index, pro přístup na `a[i][j]` se používá adresová aritmetika jinak

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

```
void print(int m[3][3])
```

```
{
    for (int r = 0; r < 3; ++r) {
        for (int c = 0; c < 3; ++c) {
            printf("%4i", m[r][c]);
        }
        printf("\n");
    }
}
```

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
```

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

print(m0);
print(m1);
print(m2);
print(m3);
```

lec05/array-inits.c



Obsah

Pole

Ukazatele

Funkce a předávání parametrů

Vstup a výstup programu

Ukazatele a pole

Textové řetězce



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 zakončena 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`



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 procházením 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, strcmp, 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 dělení se zbytkem.
- **Termín odevzdání:** 10.11.2018, 23:59:59 PST
- **Bonusová úloha:** 17.11.2018, 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



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**

