

Pole, ukazatel, textový řetězec, vstup a výstup programu

Jan Faigl

Katedra počítačů
Fakulta elektrotechnická
České vysoké učení technické v Praze

Přednáška 04

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

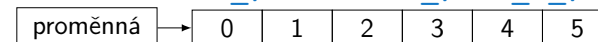
Pole a ukazatele

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 pamětového 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 x sizeof(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. *Těž 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'`.

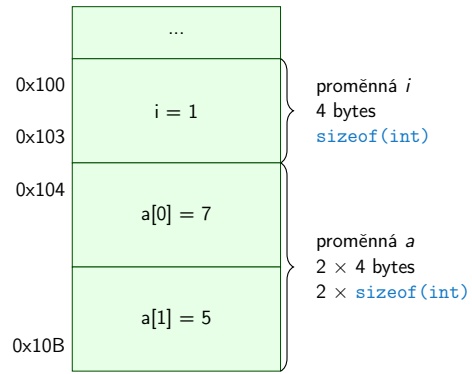
C nekontroluje za běhu programu, zdali je index platný!

Např. přístup do pole a[1000].

Pole – Příklad vizualizace alokace přiřazení hodnot

- Proměnná typu pole označuje na začátek paměti, kde jsou alokovány jednotlivé prvky pole.
- Přístup k prvkům pole je prostřednictvím indexového operátoru [], který určí adresu prvku.
 Jako začátek paměti + číslo prvku x paměťová velikost prvku, proto je důležitý typ a všechny prvky pole jsou stejného typu.

```
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

`lec04/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,
21             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

lec04/demo-array.c

Pole variabilní délky (VLA – Variable Length Array)

- 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;
}

```

lec04/fce_var_array.c

- Pole variabilní délky však nelze v definici inicializovat.

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

lec04/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 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.
- Lokální proměnné jsou ukládány na tzv. zásobník, který má relativně malou velikost (jednotky/desítky MB). Pro velká pole je vhodnější alokovat paměť dynamicky a použít **ukazatele**.
Více o paměťových třídách a dynamické alokaci v 5. přednášce.

- Pole může být argumentem funkce

```

void fce(int array[]);

```

předávaná hodnota je adresa začátku pole – hodnota **ukazatele!**

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.
- Prázdna 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 = 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
```

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 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 ukazateli pi */
```

Ukazatele – Příklad vizualizace alokace přiřazení 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.

0x100	...	} proměnná c 1 byte sizeof(char)
	c = 2	
0x101		} proměnná pc 64-bit sizeof(char*)
	pc = 0x100	
0x108		} proměnná i 4 bytes sizeof(int)
	i = 15	
0x109		} proměnná pi 64-bit sizeof(int*)
	pi = 0x109	
0x114		} proměnná ppi 64-bit sizeof(int**)
	ppi = 0x10D	
0x115		
	ppi = 0x10D	
0x11C		

Ukazatele jsou proměnné, které uchovávají adresy jiných proměnných.

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
```

lec04/pointers.c

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;*

Ukazatele (pointery), proměnné a jejich hodnoty

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

V případě kompilace se zpravidla jedná o adresy relativní, které jsou absolutizovány při linkování nebo spouštění programu.
- 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.
 - Hodnota je získána z adresy, která je uložena v paměti, na kterou odkazuje hodnota proměnné typu ukazatel.
- Operátor `&` vrací adresu, kde je uložena hodnota proměnné.

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 v podstatě 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

lec04/function_call.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.

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

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

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

Pro Unix a MS Windows

lec04/main_env.c

- Rozšířená funkce o specifické parametry Mac OS X

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

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 > 1 ? 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
lec04/demo-arg.c

- Voláním **return** ve funkci **main()** vrátíme 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 přeměřovat 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 přeměřovat.


```
./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>`.

Ukazatele (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 pamětovým 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 programu s výstupem na stdout a přeměřováním

```
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 }
```

lec04/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
```

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);
```

lec04/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 adresu prvního prvku.

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.
                                lec04/fce_array.c
```
- Program lze zkompileovat, ale u předávaného pole se nelze spoléhat na velikost `sizeof`.
- Ukazatel nese informaci o velikosti alokované paměti!

Pole ano „hlídá za nás kompilátor.“

Ukazatelová (pointerová) aritmetika

- S ukazateli (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 zvyší.
 - `(p+2)` je ekvivalentní adrese `p + 2*sizeof(int)`.
 - Příklad použití viz `lec04/pointers_and_array.c`

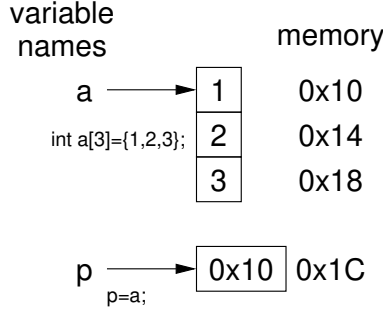
Ukazatele a pole

- 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.
- Přřazení `p = a` je legitimní.

Kompilátor zajistí přřazení 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>

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,
7         b[i]);
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,
15         *(p+i));
   }
   lec04/array_pointer.c
```

Print content of the array 'a' using pointer arithmetic

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

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(sizeof(array)/sizeof(int), array); // pocet prvku
16     return 0;
17 }
```

lec04/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] = {
    { 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");
}
```

lec04/matrix.c

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 }
```

lec04/fce_vla.c

Vícerozměrná pole a vnitřní reprezentace

- Vícerozměrné pole je **vždy** souvislý blok paměti.
*Např. `int a[3][3]`; reprezentuje alokovanou paměť o velikosti $9 * \text{sizeof}(\text{int})$, 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
```

lec04/matrix.c

- Dvouzměrné 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 jednozměrného 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
lec04/array-inits.c

Řetězcové literály

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

"Řetězcová konstanta s koncem řádku\n"

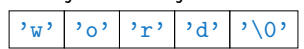
- Řetězcové konstanty oddělené oddělovači (white spaces) se sloučí do jediné, např.

"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



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'
lec04/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.
- 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'

- 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'

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`.

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

```
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]));
}
```

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

lec04/string_length.c

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

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:** 29.10.2022, 23:59:59 PDT.
- Bonusová úloha: 14.01.2023, 23:59:59 PST.

PDT – Pacific Daylight Time

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 programu a návratová hodnota
- **Příště:** Ukazatele, paměťové třídy a volání funkcí.