

Stromy

Jan Faigl

Katedra počítačů

Fakulta elektrotechnická

České vysoké učení technické v Praze

Přednáška 10

B0B36PRP – Procedurální programování

Přehled témat

- Část 1 – Stromy

 - Stromy

 - Binární strom

 - Příklad binárního stromu v C

 - Stromové struktury

- Část 2 – Příklad načítání grafu, kompilace a projekt s více soubory

 - Načítání grafu jako seznamu hran – projekt s více soubory

- Část 3 – Zadání 9. domácího úkolu (HW09)

Část I

Část 1 – Stromy

Lineární a nelineární spojivé struktury

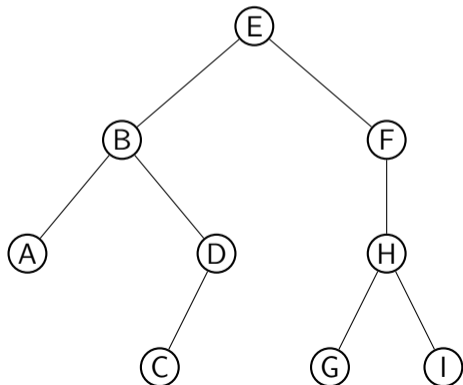
- Spojivé seznamy představují lineární spojivou strukturu.

Každý prvek má nejvýše jednoho následníka.

- Nelineární spojivé struktury (např. stromy).

Každý prvek může mít více následníků.

- **Binární strom**: každý prvek (uzel) má nejvýše dva následníky.



- kořen stromu
- list
- levý podstrom
- pravý podstrom

Binární strom

- Pro přehlednost uvažujme datové položky uzlů stromu jako hodnoty typu `int`.
- Uzel stromu reprezentujeme strukturou `node_t`.

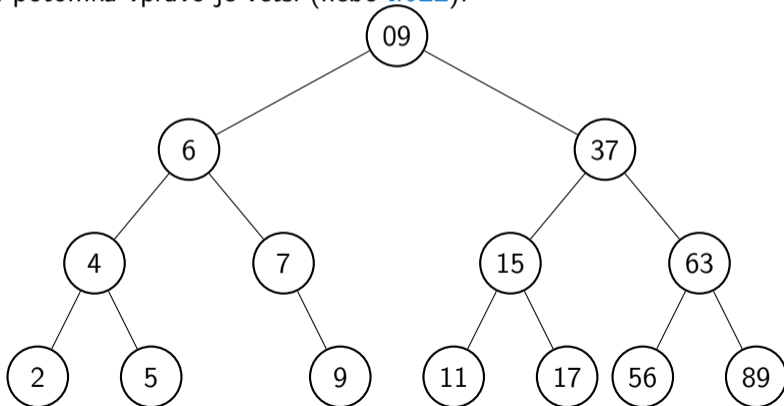
```
typedef struct node {  
    int value;  
    struct node *left;  
    struct node *right;  
} node_t;
```

- Strom je pak reprezentován kořenem stromu, ze kterého máme přístup k jednotlivým uzlům (potomci `left` a `right` a jejich potomci).

```
node_t *tree;
```

Příklad – Binární vyhledávací strom

- Binární vyhledávací strom – Binary Search Tree (BST).
- Pro každý prvek (uzel) platí, že hodnota (**value**) potomka vlevo je menší (nebo **NULL**) a hodnota potomka vpravo je větší (nebo **NULL**).



BST – tree_insert() 1/2

- Při vložení prvku dynamicky alokujeme uzel pomocnou (lokální) funkcí, např. `newNode()`.

```
static node_t* newNode(int value)
{
    node_t *node= (node_t*)malloc(sizeof(node_t));

    if (!node) {
        fprintf(stderr, "ERROR: Memory allocation fail file: %s line: %d\n",
            __FILE__, __LINE__);
        exit(-1);
    }

    node->value = value;
    node->left = node->right = NULL;
    return node;
}
```

BST – tree_insert() 2/2

- Vložení prvku – využijeme rekurze a vkládáme na první volné vhodné místo, splňující podmínku BST.

Binární vyhledávací strom nemusí být nutně vyvážený!

```
node_t* tree_insert(int value, node_t *node)
{
    if (node == NULL) {
        return newNode(value); // vracíme nový uzel
    } else {
        if (value <= node->value) { //vložení do levého podstromu
            node->left = tree_insert(value, node->left);
        } else { // vložení do pravého podstromu
            node->right = tree_insert(value, node->right);
        }
        return node; // vracíme vstupní uzel!!!
    }
}
```

lec10/tree-int.c

Průchod binárním vyhledávacím stromem

- Při hledání prvku konkrétní hodnoty se postupně zanořujeme hlouběji do stromu. Může nastat jedna z následujících situací:

Např. hodnota `value` představuje klíč nějaké datové položky.

1. Aktuální prvek má hledanou hodnotu klíče, hledání je ukončeno.
 2. Hodnota klíče je menší než hodnota aktuálního prvku, pokračujeme v hledání v další úrovni levého potomka.
 3. Hodnota klíče je větší než hodnota aktuálního prvku, pokračujeme v hledání v další úrovni pravého potomka.
 4. Aktuální prvek má hodnotu **null**, hledání je ukončeno, prvek ve stromu není.
- Při průchodu stromem můžeme postupovat rekurzivně tak, že nejdříve navštívujeme levé potomky a následně pak pravé potomky.

Pokud budeme při takovém průchodu vypisovat hodnoty v levém podstromu, pak hodnotu prvku a následně hodnoty v pravém podstromu, vypíšeme hodnoty uložené ve stromu uspořádaně (sestupně nebo vzestupně, podle toho jestli jsou vlevo prvky menší nebo větší).

Binární strom celočíselných hodnot `int`

- Kromě vložení prvků do stromu funkcí `tree_insert()`,

Viz předchozí příklad.

implementuje následující funkce:

- `tree_free()` – Kompletní smazání stromu, včetně uvolnění paměti všech prvků;
- `tree_size()` – Vrátí počet prvků ve stromu;
- `tree_print()` – Vypsání prvků uložených ve stromu (BST).

```
void tree_free(node_t **tree); // chceme také smazat a vynulovat  
    hodnotu ukazatele tree, proto **tree  
int tree_size(const node_t *const tree);  
void tree_print(const node_t *const node);
```

`lec10/tree-int.h`

Příklad implementace `tree_free()`

```
void tree_free(node_t **tree)
{
    if (tree && *tree) {
        node_t * node = *tree;
        if ( node->left ) {
            tree_free(&(node->left));
        }
        if ( node->right ) {
            tree_free(&(node->right));
        }
        free(*tree);
        *tree = NULL; // fill the tree variable
                     // of the calling function to NULL
    }
}
```

Předáváme ukazatel na ukazatel, abychom mohli po uvolnění paměti nastavit hodnotu ukazatele na NULL. *Proměnná je předána hodnotou.*

`lec10/tree-int.h`

Příklad implementace `tree_size()` a `tree_print()`

- Určení počtu prvků implementujeme rekurzí.

```
int tree_size(const node_t *const node)
{
    return node == NULL ?
        0 :
        tree_size(node->left) + 1 + tree_size(node->right);
}
```

- Podobně výpis hodnot.

```
void tree_print(const node_t *const node)
{
    if (node) {
        tree_print(node->left);
        printf("%d ", node->value);
        tree_print(node->right);
    }
}
```

lec10/tree-int.c

Příklad použití – 1/3

- Strom naplníme `for` cyklem.
- Vypíšeme počet prvků a uložené hodnoty funkcí `tree_print()`.

```
...
for (int i = 0; i < n; ++i) {
    printf("Insert value %i\n", values[i]);
    if (root == NULL) {
        root = tree_insert(values[i], NULL);
    } else {
        tree_insert(values[i], root);
    }
}
printf("No. of tree nodes is %i\n", tree_size(root));

printf("Print tree: ");
tree_print(root);
printf("\n");

tree_free(&root);
printf("After tree_free() root is %p\n", root);
return 0;
}
```

lec10/demo-tree-int.c

Příklad použití – 3/3

- Program spustíme bez a s argumentem pro načtení „balanced“ stromu.

```
clang tree-int.c demo-tree-int.c
./a.out
Insert values2 that will result in an
  unbalanced tree
Insert value 5
Insert value 4
Insert value 6
Insert value 3
Insert value 7
Insert value 2
Insert value 8
```

No. of tree nodes is 7

Print tree: 2 3 4 5 6 7 8

```
clang tree-int.c demo-tree-int.c
./a.out values1
Insert values1 to make balanced tree
Insert value 5
Insert value 3
Insert value 7
Insert value 2
Insert value 4
Insert value 6
Insert value 8
```

No. of tree nodes is 7

Print tree: 2 3 4 5 6 7 8

- V obou případech je výpis uspořádaný.

[lec10/demo-tree-int.c](#)

Jak otestovat, že operace nad stromem (např. `tree_insert()`) zachová vlastnosti BST?

Test vlastnosti binárního vyhledávacího stromu

- Ověření zdali je strom binárním vyhledávacím stromem otestujeme funkcí `tree_is_bst()`.

```
_Bool tree_is_bst(const node_t *const node);
```

- Funkce rekurzivně projde strom a ověří, že pro každý uzel platí:
 1. Hodnota uzlu není menší než nejvyšší hodnota v levém podstromu;
 2. Hodnota uzlu není větší než nejmenší hodnota v pravém podstromu;
 3. Podstrom levého následníka splňuje vlastnost BST;
 4. Podstrom pravého následníka splňuje vlastnost BST.
- K tomu potřebujeme pomocné funkce `getMaxValue()` a `getMinValue()`.

Příklad implementace `tree_is_bst()` - 1/3

- Za předpokladu BST můžeme maximální hodnotu nalézt iteračně.

```
static int getMaxValue(const node_t *const node)
{
    const node_t *cur = node;
    while (cur->right) {
        cur = cur->right;
    }
    return cur->value;
}
```

- Podobně minimální hodnotu.

```
static int getMinValue(const node_t *const node)
{
    const node_t *cur = node;
    while (cur->left) {
        cur = cur->left;
    }
    return cur->value;
}
```

lec10/tree-int.c

Příklad implementace `tree_is_bst()` - 2/3

```
_Bool tree_is_bst(const node_t *const node)
{
    _Bool ret = true;
    if (node != NULL) {
        if (node->left
            && getMaxValue(node->left) > node->value) {
            ret = false;
        }
        if (ret && node->right
            && getMinValue(node->right) <= node->value) {
            ret = false;
        }
        if (ret
            && (
                !tree_is_bst(node->left) || !tree_is_bst(node->right)
            )
            ) {
            ret = false;
        }
    }
    return ret;
}
```

[lec10/tree-int.c](#)

Příklad implementace `tree_is_bst()` - 3/3

- Přidáme výpis a volání `tree_is_bst()`.

```
...
printf("Max tree depth: %i\n", tree_max_depth(root));
printf("Tree is binary search tree (BST): %s\n",
      tree_is_bst(root) ? "yes" : "no");
```

- Program spustíme bez a s argumentem pro načtení `balanced` stromu.

```
clang tree-int.c demo-tree-int.c
./a.out
Insert values2 that will result in an
  unbalanced tree
...
Print tree: 2 3 4 5 6 7 8
Tree is binary search tree (BST): yes
Print tree by depth row
```

```
clang tree-int.c demo-tree-int.c
./a.out values1
Insert values1 to make balanced tree
...
Print tree: 2 3 4 5 6 7 8
Tree is binary search tree (BST): yes
```

- V obou případech je podmínka BST splněna.

`lec10/demo-tree-int.c`

Test sice indikuje, že strom je správně vytvořen, ale vizuálně nám výpis příliš nepomohl. V tomto jednoduchém případě si můžeme dále napsat funkci pro názornější výpis jednotlivých úrovní stromu. K tomu budeme potřebovat určení hloubky stromu.

Příklad implementace `tree_max_depth()`

- Funkci implementujeme rekurzí.

```
int tree_max_depth(const node_t *const node)
{
    if (node) {
        const int left_depth = tree_max_depth(node->left);
        const int right_depth = tree_max_depth(node->right);
        return left_depth > right_depth ?
            left_depth + 1 :
            right_depth + 1;
    } else {
        return 0;
    }
}
```

[lec10/tree-int.c](#)

Výpis hodnot v konkrétní hloubce stromu `printDepth()`

- Výpis konkrétní vrstvy (hloubky) provedeme rekurzivně lokální funkcí `printDepth()`.

```
static void printDepth(int depth, int cur_depth, const node_t *const node)
{
    if (depth == cur_depth) {
        if (node) {
            printf("%2d ", node->value);
        } else {
            printf(" - ");
        }
    } else if (node) {
        printDepth(depth, cur_depth + 1, node->left);
        printDepth(depth, cur_depth + 1, node->right);
    }
}
```

lec10/tree-int.c

Příklad implementace výpisu stromu

tree_print_layers()

- Výpis hodnot po jednotlivých vrstvách (hloubce) implementujeme iteračně pro dílčí hloubky stromu.

```
void tree_print_layers(const node_t *const node)
{
    const int depth = tree_max_depth(node);
    for (int i = 0; i <= depth; ++i) {
        printDepth(i, 0, node);
        printf("\n");
    }
}
```

lec10/tree-int.c

Příklad použití `tree_print_layers()`

- Přidáme výpis a volání `tree_print_layers()`.

```
...
printf("Print tree by depth row\n");
tree_print_layers(root);
...
```

- Program spustíme bez a s argumentem pro načtení *balanced* stromu.

```
clang tree-int.c demo-tree-int.c
./a.out
Insert values2 that will result in an
    unbalanced tree
...
Print tree: 2 3 4 5 6 7 8
Tree is binary search tree (BST): yes
Max tree depth: 4
Print tree by depth row
5
4 6
3 - - 7
2 - - 8
- - - -
```

```
clang tree-int.c demo-tree-int.c
./a.out values1
Insert values1 to make balanced tree
...
Print tree: 2 3 4 5 6 7 8
Tree is binary search tree (BST): yes
Max tree depth: 3
Print tree by depth row
5
3 7
2 4 6 8
- - - - -
```

[lec10/demo-tree-int.c](#)

Stromové struktury

- Stromové struktury jsou významné datové struktury pro vyhledávání.

Složitost vyhledávání je úměrná hloubce stromu.

- Binární stromy – každý uzel má nejvýše dva následníky.

- Hloubku stromu lze snížit tzv. vyvažováním stromu.

- AVL stromy

Georgy Adelson-Velsky a Evgenii Landis

- Red-Black stromy

- **Plný binární strom** – každý vnitřní uzel má dva potomky a všechny uzly jsou co nejvíce vlevo.

- **Můžeme efektivně reprezentovat polem.**

Pro daný maximální počet uzlů, viz přednáška 11.

- Lze použít pro efektivní implementaci prioritní fronty.

Heap – halda

- Halda (heap) je základem řadícího algoritmu *Heap Sort*.

- Vícecestné stromy – např. B–strom (Bayer tree) pro ukládání uspořádaných záznamů.

Informativní více v Algoritmizaci

Část II

Část 2 – Příklad načítání grafu, kompilace a projekt s více soubory

Dílčí příklady použití jazykových konstrukcí v projektu

- Program složený z více souborů
- Dynamická alokace paměti
- Načítání souboru
- Parsování čísel z textového souboru

- Měření času běhu programu
- Řízení kompilace projektu složeného z více souborů `Makefile`

Zadání

- Vytvořte program, který načte orientovaný graf definovaný posloupností hran.
 - Graf je zapsán v textovém souboru.
- Navrhněte datovou strukturu pro reprezentaci grafu.
- Počet hran není dopředu znám.

Zpravidla však budou na vstupu grafy s průměrným počtem hran $3n$ pro n vrcholů grafu.

- Hrana je definována číslem vstupního a výstupního vrcholu a cenou (také celé číslo).
 - Ve vstupním souboru je každá hrana zapsaná samostatně na jednom řádku.
 - Řádek má tvar:
`from to cost`
 - kde `from`, `to` a `cost` jsou kladná celá čísla v rozsahu `int`.
- Pro načtení hodnot hran použijte pro zjednodušení funkci `fscanf()`.
- *Program dále rozšiřte o sofistikovanější, méně výpočetně náročné načítání.*

Pravidla překladu v gmake / make

- Pro řízení překladu použijeme pravidlový předpis programu GNU `make`. `make` nebo `gmake`
- Pravidla se zapisují do souboru `Makefile`.

<http://www.gnu.org/software/make/make.html>

- Pravidla jsou deklarativní ve tvaru definice cíle, závislostí cíle a akce, která se má provést.

cíl : závislosti

dvojtečka

akce

tabulátor

- Cíl (podobně jako závislosti) může být například symbolické jméno nebo jméno souboru.

tload.o : tload.c

clang -c tload.c -o tload.o

- Předpis může být napsán velmi jednoduše.

Například jako v uvedené ukázce.

Flexibilita použití však spočívám především v použití zavedených proměnných, vnitřních proměnných a využití vzorů, neboť většina zdrojových souborů se překládá identicky.

Příklad – Makefile

- Definujeme pravidlo pro vytvoření souborů `.o` z `.c` z aktuálních souborů v pracovním adresáři s koncovkou `.c`.

```
CC=ccache $(CC)
CFLAGS+=-O2

OBJS=$(patsubst %.c,%.o,$(wildcard *.c))

TARGET=tload

bin: $(TARGET)

$(OBJS): %.o: %.c
    $(CC) -c $< $(CFLAGS) $(CPPFLAGS) -o $@

$(TARGET): $(OBJS)
    $(CC) $(OBJS) $(LDFLAGS) -o $@

clean:
    $(RM) $(OBJS) $(TARGET)
```

ccache

CC=clang make vs CC=gcc make

- **Při linkování záleží na pořadí souborů (knihoven)!**
- Jednou z výhod dobrých pravidel je možnost paralelního překladu nezávislých cílů .

make -j 4

Definice datové struktury grafu – graph.h

- Zavedeme nový typ datové struktury hrana—`edge_t`,
- který použijeme ve struktuře grafu—`graph_t`.

```
#ifndef __GRAPH_H__
#define __GRAPH_H__
```

```
typedef struct {
    int from;
    int to;
    int cost;
} edge_t;
```

```
typedef struct {
    edge_t *edges;
    int num_edges;
    int capacity;
} graph_t;
```

```
#endif
```

lec10/graph.h

- Soubor budeme opakovaně vkládat (`include`) v ostatních zdrojových souborech, proto „zabraňujeme“ opakované definici konstantou preprocesoru `__GRAPH_H__`.

Pomocné funkce pro práci s grafem

- Alokaci/uvolnění grafu implementujeme v samostatných funkcích.
- Při načítání grafu budeme postupně zvětšovat paměť pro uložení načítaných hran.
- Využijeme dynamické alokace paměti—`enlarge_graph()` o definovanou velikost.

```
#ifndef __GRAPH_UTILS_H__
#define __GRAPH_UTILS_H__

#include "graph.h"

graph_t* allocate_graph(void);

void free_graph(graph_t **g);

graph_t* enlarge_graph(graph_t *g);

void print_graph(graph_t *g);

#endif
```

lec10/graph_utils.h

Alokace paměti grafu

- Testujeme úspěšnost alokace paměti.
- Po alokaci nastavíme hodnoty proměnných na `NULL` a `0`.

Alternativně `calloc()`.

```
#include <assert.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>

#include "graph.h"

graph_t* allocate_graph(void)
{
    graph_t *g = (graph_t*) malloc(sizeof(graph_t));
    if (g == NULL) {
        fprintf(stderr, "Malloc fail: %s line %d\n", __FILE__, __LINE__);
        exit(-1);
    }
    g->edges = NULL;
    g->num_edges = 0;
    g->capacity = 0; /* or we can call calloc */
    return g;
}
```

lec10/graph_utils.c

Uvolnění paměti pro uložení grafu

- Testujeme validní hodnotu argumentu funkce—`assert()`.

Pokud nastane chyba, funkci v programu špatně voláme. Až odladíme můžeme kompilovat s `NDEBUG`.

```
void free_graph(graph_t **g)
{
    /* We request to call free_graph only with valid g.
     * The program has to be written to properly call free_graph(). */
    assert(g != NULL && *g != NULL);
    if ((*g)->capacity > 0) {
        free((*g)->edges);
    }
    free(*g);
    *g = NULL;
}
```

lec10/graph_utils.c

- Po uvolnění paměti nastavíme hodnotu ukazatele na strukturu na hodnotou `NULL`.

Zvětšení paměti pro uložení hran grafu

- V případě nulové velikosti alokujeme paměť pro `INIT_SIZE` hran.
- `INIT_SIZE` můžeme definovat při překladu, jinak výchozí hodnota 10.

```
#ifndef INIT_SIZE
#define INIT_SIZE 10
#endif
```

např. `clang -D INIT_SIZE=90 -c graph_utils.c`

```
graph_t* enlarge_graph(graph_t *g)
{
    assert(g != NULL); /* enlarge_graph() must be properly called */
    int n = g->capacity == 0 ? INIT_SIZE : g->capacity * 2;
    /* double the memory */
    edge_t *e = (edge_t*)malloc(n * sizeof(edge_t));
    if (e == NULL) {
        fprintf(stderr, "Malloc fail: %s line %d\n", __FILE__, __LINE__);
        exit(-1);
    }
    memcpy(e, g->edges, g->num_edges * sizeof(edge_t));
    free(g->edges);
    g->edges = e; /* update edges */
    g->capacity = n;
    return g;
}
```

lec10/graph_utils.c

- Místo `malloc()` a `memcpy()` můžeme použít funkci `realloc()`.

Tisk hran grafu

- Pro tisk hran grafu využijeme pointerovou aritmetiku.

```
void print_graph(graph_t *g)
{
    assert(g != NULL);
    fprintf(stderr, "Graph has %d edges and %d edges are allocated\n",
            g->num_edges, g->capacity);
    edge_t *e = g->edges;
    for (int i = 0; i < g->num_edges; ++i, e++) {
        printf("%d %d %d\n", e->from, e->to, e->cost);
    }
}
```

- Informace vypisujeme na standardní chybový výstup.
- Graf tiskneme na standardní výstup.
- Při tisku a přesměrování standardního výstupu tak v podstatě můžeme realizovat kopírování souboru s grafem.

Např. ./tload -p g > g2

Hlavní funkce programu – main()

- V hlavní funkci zpracujeme předané argumenty programu.
- V případě uvedení přepínače `-p` vytiskneme graf na `stdout`.

```
int main(int argc, char *argv[])
{
    int ret = 0;
    int print = 0;
    char *fname;
    int c = 1;
    if (argc > 2 && strcmp(argv[c], "-p") == 0) {
        print = 1;
        c += 1;
    }
    fname = argc > 1 ? argv[c] : NULL;
    fprintf(stderr, "Load file '%s'\n", fname);
    graph_t *graph = allocate_graph();
    int e = load_graph_simple(fname, graph);
    fprintf(stderr, "Load %d edges\n", e);
    if (print) {
        print_graph(graph);
    }
    free_graph(&graph);
    return ret;
}
```

Jednoduché načtení grafu – deklarace

- Prototyp funkce uvedeme v hlavičkovém souboru `load_simple.h`.

```
#ifndef __LOAD_SIMPLE_H__
#define __LOAD_SIMPLE_H__

#include "graph.h"

int load_graph_simple(const char *fname, graph_t *g);

#endif
```

- Vkládáme pouze soubor `graph.h`—pro definici typu `graph_t`.

Snažíme se zbytečně nevkładat nepoužívané soubory.

Jednoduché načtení grafu – implementace 1/2

- Používáme funkci `enlarge_graph()`, proto vkládáme `graph_utils.h`.
- `load_simple.h` vkládat nemusíme, obsahuje pouze prototyp funkce.
- Obecně je to dobrým zvykem nebo nutností (definice typů).

```
#include <stdio.h>
#include "graph_utils.h"
#include "load_simple.h"

int load_graph_simple(const char *fname, graph_t *g)
{
    int c = 0;
    int exit = 0;
    FILE *f = fopen(fname, "r");
    while (f && !exit) {
        if (g->num_edges == g->capacity) {
            enlarge_graph(g);
        }
        edge_t *e = g->edges + g->num_edges;
        while (g->num_edges < g->capacity) {
            /* read and parse a single line -> NEXT SLIDE! */
        }
    }
    if (f) {
        fclose(f);
    }
    return c;
}
```

Jednoduché načtení grafu – implementace 2/2

- Pro načtení řádku s definicí hrany použijeme funkci `fscanf()`.

```
while (g->num_edges < g->capacity) {
    int r = fscanf(f, "%d %d %d\n", &(e->from), &(e->to), &(e->cost));
    if (r == 3) {
        g->num_edges += 1;
        c += 1; /* pocet nactenych hran */
        e += 1; /* posun ukazatele hran o sizeof(edge_t) */
    } else {
        exit = 1; /* neco je spatne ukoncujieme naciteni */
        break;
    }
}
```

- Kontrolujeme počet přečtených parametrů a až pak zvyšujeme počet hran v grafu.

Spuštění programu 1/3

- Necht' máme soubor `g` definující graf o 1 000 000 uzlech, například vytvořený programem `lec10/graph_creator/graph_creator.c`.

Velikost souboru cca 62 MB (příkaz `du-disk usage`).

```
% du g
62M    g

% ./tload g
Load file 'g'
Load 2998898 edges

% time ./tload g
Load file 'g'
Load 2998898 edges
./tload g  1.12s user 0.03s system 99% cpu 1.151 total
```

- Příkazem `time` můžeme změřit potřebný čas běhu programu.

strojový, systémový a reálný

Spuštění programu 2/3

- Příznakem `-p` a přesměrováním standardního výstupu můžeme vytisknout graph do souboru.

V podstatě vstupní soubor zkopírujeme.

```
% time ./tload -p g > g2
Load file 'g'
Load 2998898 edges
Graph has 2998898 edges and 5242880 edges are allocated
./tload -p g > g2  2.09s user 0.07s system 99% cpu 2.158 total

% md5 g g2
MD5 (g) = d969461a457e086bc8ae08b5e9cce097
MD5 (g2) = d969461a457e086bc8ae08b5e9cce097
```

- Čas běhu programu je přibližně dvojnásobný.
- Oba soubory se zdají být z otisku `md5` identické.

Na Linuxu `md5sum` případně lze použít otisk `sha1`, `sha256` nebo `sha512`.

Spuštění programu 3/3

- Implementací sofistikovanějšího načítání

```
% /usr/bin/time ./tload g
Load file 'g'
Load 2998898 edges
0.19 real          0.16 user          0.03 sys
```

- lze získat výrazně rychlejší načítání.

160 ms vs 1050 ms

```
% /usr/bin/time ./tload g
Load file 'g'
Load 2998898 edges
1.15 real          1.05 user          0.10 sys
```

Jak a za jakou cenu zrychlit načítání seznamu hran

- Zrychlit načítání můžeme přijmutím předpokladů o vstupu.
- Při použití `fscanf()` je nejdříve načítán řetězec (řádek) pak řetěz reprezentující číslo a následně je parsováno číslo.
- Převod na číslo je napsán obecně.
- Můžeme použít postupné „bufferované“ načítání.
- Převod na číslo můžeme realizovat přímo po přečtení tokenu.
- Parsováním znaků (číslic) načtené posloupnosti bytů v obráceném pořadí.

- Můžeme získat výrazně rychlejší kód. Vlastní načítání bude méně obecné než `fscanf()`.

Část III

Část 2 – Zadání 9. domácího úkolu (HW09)

Zadání 9. domácího úkolu HW09

Téma: Načítání a ukládání grafu

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

- **Motivace:** Práce se soubory a binární reprezentace dat.
- **Cíl:** Osvojit si načítání a ukládání souborů a prohloubit si zkušenosti s dynamickým alokováním paměti.
- **Zadání:** <https://cw.fel.cvut.cz/wiki/courses/b0b36prp/hw/hw09>
 - Implementace načítání a ukládání datových struktur reprezentující graf a to jak v lidsky čitelné podobě textového souboru, tak v efektivní binární formátu.
 - **Volitelné zadání** je zaměřeno na využití definovaného textového formátu s cílem vytvořit specifickou efektivní implementaci textového načítání/ukládání z/do textového souboru.
Na úkor obecnosti, lze vytvořit specifický „parser/printer“ a vyhnout se tak použití obecné funkce `fscanf()`/`fprintf()` a realizovat výrazně rychlejší načítání a zápis textového souboru.
- **Termín odevzdání:** **17.12.2022, 23:59:59 PST.**

PST – Pacific Standard Time

Shrnutí přednášky

Diskutovaná témata

- Stromy – nelineární spojové struktury
- Binární vyhledávací strom
- Vyhledání prvku a průchod stromem (rekurzí)
- Rekurzivní uvolnění paměti alokované stromem
- Test splnění vlastnosti binárního vyhledávacího stromu
- Hloubka stromu a výpis stromu po úrovních
- Příklad jednoduchého binárního vyhledávacího stromu s položkami typu `int`
`lec09/tree`
- Plný binární strom a jeho reprezentace
- Makefile
- Příklad načtení stromu jako seznamu hran
`lec10/graph_load`
- Příště: Prioritní fronta – polem a haldou. Příklad využití prioritní fronty (haldy) v úloze hledání nejkratší cesty v grafu.