

Stromy

Jan Faigl

Katedra počítačů
Fakulta elektrotechnická
České vysoké učení technické v Praze

Přednáška 10

BAB36PRGA – Programování v C

Přehled témat

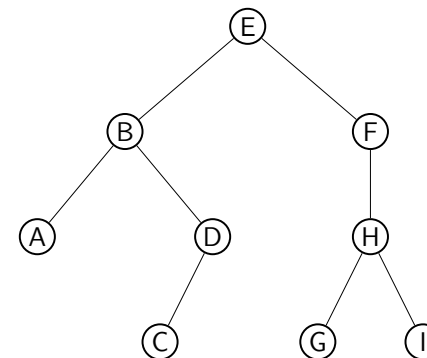
- Část 1 – Stromy
 - Stromy
 - Binární strom
 - Příklad binárního stromu v C
 - Stromové struktury
- Část 2 – Příklad načítání grafu, kompilace a projekt s více soubory
 - Načítání grafu jako seznamu hran – projekt s více soubory
- Část 3 – Zadání 9. domácího úkolu (HW09)

Část I

Část 1 – Stromy

Lineární a nelineární spojové struktury

- Spojové seznamy představují lineární spojovou strukturu.
Každý prvek má nejvýše jednoho následníka.
- Nelineární spojové 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`.


```
1 typedef struct node {
2     int value;
3     struct node *left;
4     struct node *right;
5 } 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;
```

BST – tree_insert() 1/2

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

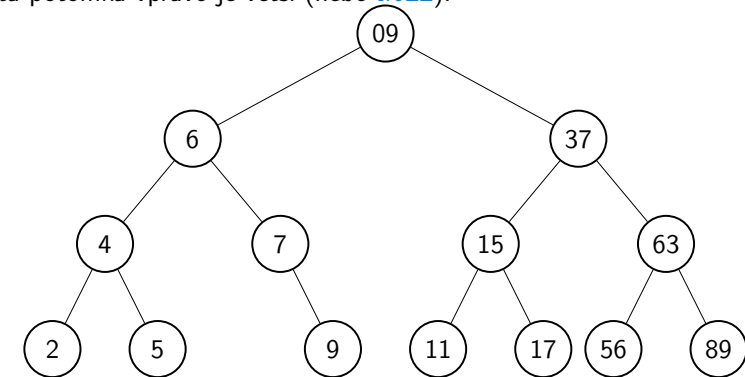
```
8 static node_t* newNode(int value)
9 {
10     node_t *node= (node_t*)malloc(sizeof(node_t));
11
12     if (!node) {
13         fprintf(stderr, "ERROR: Memory allocation fail file: %s line: %d\n",
14             __FILE__, __LINE__);
15         exit(-1);
16     }
17     node->value = value;
18     node->left = node->right = NULL;
19     return node;
20 }
```

lec10/tree/tree-int.c

- Uvedením klíčového slova `static` je funkce viditelná pouze v modulu `tree-int.c`.

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() 2/2

- Vložení prvku – využijeme rekurze a vkládáme na první volné vhodné místo, splňující podmínku BST. *Binární vyhledávací strom nemusí být nutně vyvážený!*

```
23 node_t* tree_insert(int value, node_t *node)
24 {
25     if (node == NULL) {
26         return newNode(value); // vracíme nový uzel
27     } else {
28         if (value <= node->value) { //vložení do levého podstromu
29             node->left = tree_insert(value, node->left);
30         } else { // vložení do pravého podstromu
31             node->right = tree_insert(value, node->right);
32         }
33         return node; // vracíme vstupní uzel!!!
34     }
35 }
```

lec10/tree/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).

```
1 void tree_free(node_t **tree); // chceme také smazat a vynulovat
   hodnotu ukazatele tree (na úrovni volající funkce), proto **tree
2 int tree_size(const node_t *const tree);
3 void tree_print(const node_t *const node);
```

`lec10/tree/tree-int.h`

Příklad implementace tree_free()

```
40 void tree_free(node_t **tree)
41 {
42     if (tree && *tree) {
43         node_t * node = *tree;
44         if ( node->left ) {
45             tree_free(&(node->left));
46         }
47         if ( node->right ) {
48             tree_free(&(node->right));
49         }
50         free(*tree);
51         *tree = NULL; // fill the tree variable
52                       // of the calling function to NULL
53     }
54 }
```

Předáváme ukazatel na ukazatel, abychom mohli po uvolnění paměti nastavit hodnotu ukazatele (ve volající funkci) na NULL. Proměnná je předána hodnotou.

...
`tree_free(&tree);`
`// zde chceme mit tree == NULL`

`lec10/tree/tree-int.h`

Příklad implementace tree_size() a tree_print()

- Určení počtu prvků implementujeme rekurzí.

```
56 int tree_size(const node_t *const node)
57 {
58     return node == NULL ?
59         0 :
60         tree_size(node->left) + 1 + tree_size(node->right);
61 }
```

- Podobně výpis hodnot.

```
74 void tree_print(const node_t *const node)
75 {
76     if (node) {
77         tree_print(node->left);
78         printf("%d ", node->value);
79         tree_print(node->right);
80     }
81 }
```

`lec10/tree/tree-int.c`

Příklad použití – 1/3

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

```

22 ...
23 for (int i = 0; i < n; ++i) {
24     printf("Insert value %i\n", values[i]);
25     if (root == NULL) {
26         root = tree_insert(values[i], NULL);
27     } else {
28         tree_insert(values[i], root);
29     }
30 }
31 printf("No. of tree nodes is %i\n", tree_size(root));
32
33 printf("Print tree: ");
34 tree_print(root);
35 printf("\n");
36
37 tree_free(&root);
38 printf("After tree_free() root is %p\n", root);
39 return 0;
40 }

```

lec10/tree/demo-tree-int.c

Test vlastnosti binárního vyhledávacího stromu

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


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

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

```
- V obou případech je výpis uspořádaný. Jak otestovat, že operace nad stromem (např. `tree_insert()`) zachová vlastnosti BST?


```

$ 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

```

lec10/tree/demo-tree-int.c

Příklad implementace `tree_is_bst()` - 1/3

- Za předpokladu BST můžeme maximální hodnotu nalézt iteračně.


```

84 static int getMaxValue(const node_t *const node)
85 {
86     const node_t *cur = node;
87     while (cur->right) {
88         cur = cur->right;
89     }
90     return cur->value;
91 }

```
- Podobně minimální hodnotu.

```

94 static int getMinValue(const node_t *const node)
95 {
96     const node_t *cur = node;
97     while (cur->left) {
98         cur = cur->left;
99     }
100    return cur->value;
101 }

```

lec10/tree/tree-int.c

Příklad implementace tree_is_bst() - 2/3

```

105 _Bool tree_is_bst(const node_t *const node)
106 {
107     _Bool ret = true;
108     if (node != NULL) {
109         if (node->left
110             && getMaxValue(node->left) > node->value) {
111             ret = false;
112         }
113         if (ret && node->right
114             && getMinValue(node->right) <= node->value) {
115             ret = false;
116         }
117         if (ret
118             && (
119                 !tree_is_bst(node->left) || !tree_is_bst(node->right)
120             )
121             ) {
122             ret = false;
123         }
124     }
125     return ret;
126 }

```

lec10/tree/tree-int.c

Jan Faigl, 2024 BAB36PRGA – Přednáška 10: Stromy 20 / 51

Příklad implementace tree_is_bst() - 3/3

- Přidáme výpis a volání tree_is_bst().

```

36 ...
37 printf("Max tree depth: %i\n", tree_max_depth(root));
38 printf("Tree is binary search tree (BST): %s\n",
39         tree_is_bst(root) ? "yes" : "no");

```

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

<pre> \$ 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 </pre>	<pre> \$ 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 </pre>
---	--

- V obou případech je podmínka BST splněna. lec10/tree/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.

Jan Faigl, 2024 BAB36PRGA – Přednáška 10: Stromy 21 / 51

Příklad implementace tree_max_depth()

- Funkci implementujeme rekurzí.

```

62 int tree_max_depth(const node_t *const node)
63 {
64     if (node) {
65         const int left_depth = tree_max_depth(node->left);
66         const int right_depth = tree_max_depth(node->right);
67         return left_depth > right_depth ?
68             left_depth + 1 :
69             right_depth + 1;
70     } else {
71         return 0;
72     }
73 }

```

lec10/tree/tree-int.c

Jan Faigl, 2024 BAB36PRGA – Přednáška 10: Stromy 22 / 51

Výpis hodnot v konkrétní hloubce stromu printDepth()

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

```

128 static void printDepth(int depth, int cur_depth, const node_t *const node)
129 {
130     if (depth == cur_depth) {
131         if (node) {
132             printf("%2d ", node->value);
133         } else {
134             printf(" - ");
135         }
136     } else if (node) {
137         printDepth(depth, cur_depth + 1, node->left);
138         printDepth(depth, cur_depth + 1, node->right);
139     }
140 }

```

lec10/tree/tree-int.c

Jan Faigl, 2024 BAB36PRGA – Přednáška 10: Stromy 23 / 51

Příklad implementace výpisu stromu tree_print_layers()

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

```

142 void tree_print_layers(const node_t *const node)
143 {
144     const int depth = tree_max_depth(node);
145     for (int i = 0; i <= depth; ++i) {
146         printDepth(i, 0, node);
147         printf("\n");
148     }
149 }

```

lec10/tree/tree-int.c

Příklad použití tree_print_layers()

- Přidáme výpis a volání tree_print_layers().

```

40 ...
41 printf("Print tree by depth row\n");
42 tree_print_layers(root);
43 ...

```

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

<pre> 1 clang tree-int.c demo-tree-int.c 2 ./a.out 3 Insert values2 that will result in an unbalanced tree 4 ... 5 Print tree: 2 3 4 5 6 7 8 6 Tree is binary seach tree (BST): yes 7 Max tree depth: 4 8 Print tree by depth row 9 5 10 4 6 11 3 - - 7 12 2 - - 8 13 - - - - </pre>	<pre> 1 clang tree-int.c demo-tree-int.c 2 ./a.out values1 3 Insert values1 to make balanced tree 4 ... 5 ... 6 Print tree: 2 3 4 5 6 7 8 7 Tree is binary seach tree (BST): yes 8 Max tree depth: 3 9 Print tree by depth row 10 5 11 3 7 12 2 4 6 8 13 - - - - - - - - </pre> <p style="text-align: right; color: green;">lec10/tree/demo-tree-int.c</p>
--	--

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

Dílní 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

Pravidla překladač v gmake / make

- Pro řízení překladač 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.

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 rozšířte o sofistikovanější, méně výpočetně náročné načítání.*

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 překladač nezávislých cílů.

Definice datové struktury grafu – graph.h

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

```

1 #ifndef __GRAPH_H__
2 #define __GRAPH_H__

4 typedef struct {
5     int from;
6     int to;
7     int cost;
8 } edge_t;

10 typedef struct {
11     edge_t *edges;
12     int num_edges;
13     int capacity;
14 } graph_t;

16 #endif

```

lec10/graph_load/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.

```

1 #ifndef __GRAPH_UTILS_H__
2 #define __GRAPH_UTILS_H__

```

```

4 #include "graph.h"

6 graph_t* allocate_graph(void);

8 void free_graph(graph_t **g);

10 graph_t* enlarge_graph(graph_t *g);

12 void print_graph(graph_t *g);

```

lec10/graph_load/graph_utils.h

14 #endif

Alokace paměti grafu

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

```

1 #include <assert.h>
2 #include <stdio.h>
3 #include <string.h>
4 #include <stdlib.h>

6 #include "graph.h"

8 graph_t* allocate_graph(void)
9 {
10     graph_t *g = (graph_t*) malloc(sizeof(graph_t));
11     if (g == NULL) {
12         fprintf(stderr, "Malloc fail: %s line %d\n", __FILE__, __LINE__);
13         exit(-1);
14     }
15     g->edges = NULL;
16     g->num_edges = 0;
17     g->capacity = 0; /* or we can call calloc */
18     return g;
19 }

```

lec10/graph_load/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`.

```

28 void free_graph(graph_t **g)
29 {
30     /* We request to call free_graph only with valid g.
31      * The program has to be written to properly call free_graph(). */
32     assert(g != NULL && *g != NULL);
33     if ((*g)->capacity > 0) {
34         free((*g)->edges);
35     }
36     free(*g);
37     *g = NULL;
38 }

```

lec10/graph_load/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.

```

1 #ifndef INIT_SIZE
2 #define INIT_SIZE 10
3 #endif
4
5 graph_t* enlarge_graph(graph_t *g)
6 {
7     assert(g != NULL); /* enlarge_graph() must be properly called */
8     int n = g->capacity == 0 ? INIT_SIZE : g->capacity * 2;
9     /* double the memory */
10    edge_t *e = (edge_t*)malloc(n * sizeof(edge_t));
11    if (e == NULL) {
12        fprintf(stderr, "Malloc fail: %s line %d\n", __FILE__, __LINE__);
13        exit(-1);
14    }
15    memcpy(e, g->edges, g->num_edges * sizeof(edge_t));
16    free(g->edges);
17    g->edges = e; /* update edges */
18    g->capacity = n;
19    return g;
20 }

```

lec10/load_graph/graph_utils.c

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

Tisk hran grafu

- Pro tisk hran grafu využijeme pointerovou aritmetiku.

```

54 void print_graph(graph_t *g)
55 {
56     assert(g != NULL);
57     fprintf(stderr, "Graph has %d edges and %d edges are allocated\n",
58             g->num_edges, g->capacity);
59     edge_t *e = g->edges;
60     for (int i = 0; i < g->num_edges; ++i, e++) {
61         printf("%d %d %d\n", e->from, e->to, e->cost);
62     }
63 }

```

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

Např. ./tload -p g > g2

Hlavní funkce programu – `main()`

- V `main()` zpracujeme předané argumenty programu, v případě uvedení přepínače `-p` vytiskneme graf na `stdout`.

```

12 int main(int argc, char *argv[])
13 {
14     int ret = 0;
15     int print = 0;
16     char *fname;
17     int c = 1;
18     if (argc > 2 && strcmp(argv[c], "-p") == 0) {
19         print = 1;
20         c += 1;
21     }
22     fname = argc > 1 ? argv[c] : NULL;
23     fprintf(stderr, "Load file '%s'\n", fname);
24     graph_t *graph = allocate_graph();
25     int e = load_graph_simple(fname, graph);
26     fprintf(stderr, "Load %d edges\n", e);
27     if (print) {
28         print_graph(graph);
29     }
30     free_graph(&graph);
31     return ret;
32 }

```

lec10/graph_load/tgraph.c

Jednoduché načtení grafu – deklarace

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

```

1 #ifndef __LOAD_SIMPLE_H__
2 #define __LOAD_SIMPLE_H__
3
4 #include "graph.h"
5
6 int load_graph_simple(const char *fname, graph_t *g);
7
8 #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.
- Nutností v případě definice typů.

```

1 #include <stdio.h>
2 #include "graph_utils.h"
3 #include "load_simple.h"
4
5 int load_graph_simple(const char *fname, graph_t *g)
6 {
7     int c = 0;
8     int exit = 0;
9     FILE *f = fopen(fname, "r");
10    while (f && !exit) {
11        if (g->num_edges == g->capacity) {
12            enlarge_graph(g);
13        }
14        edge_t *e = g->edges + g->num_edges;
15        while (g->num_edges < g->capacity) {
16            /* read and parse a single line -> NEXT SLIDE! */
17        }
18    }
19    if (f) {
20        fclose(f);
21    }

```

lec10/graph_load/load_simple.c

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

Jednoduché načtení grafu – implementace 2/2

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

```

16    while (g->num_edges < g->capacity) {
17        int r = fscanf(f, "%d %d %d\n", &(e->from), &(e->to), &(e->cost));
18        if (r == 3) {
19            g->num_edges += 1;
20            c += 1; /* pocet nactenych hran */
21            e += 1; /* posun ukazatele hran o sizeof(edge_t) */
22        } else {
23            exit = 1; /* neco je spatne ukoncuje nacitani */
24            break;
25        }
26    }

```

lec10/graph_load/load_simple.c

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

Spuštění programu 2/3

- Příznakem `-p` a přeměrováním 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.

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

160 ms vs 1050 ms

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:** 23.12.2023, 23:59:59 PST.

PST – Pacific Standard Time

Shrnutí přednášky

Diskutovaná témata

- Stromy – nelineární spojivé 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`
`lec10/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.**