

Datové štruktúry a algoritmy

Zadanie 2 – Vyhľadávanie v dynamických množinách

Emma Macháčová

Meno cvičiaceho : Ing. Dominika Dolhá

Čas cvičení : pondelok 9:00

Dátum vytvorenia : 29. marec 2021

Obsah

Cieľ práce.....	1
Vlastná implementácia binárneho vyhľadávacieho stromu	2
Opis riešenia	2
Funkcia insert	3
Funkcia AVL	3
Funkcia rotateRight.....	4
Funkcia rotateLeft.....	4
Funkcia rightLeft	5
Funkcia leftRight	5
Funkcia search.....	5
Funkcia printOut	5
Testy.....	6
Vyhodnotenie:.....	8
Prevzatá implementácia binárneho vyhľadávacieho stromu	9
Opis riešenia	9
Porovnanie s vlastnou implementáciou.....	9
Vyhodnotenie	14
Prevzatá implementácia HASH funkcie.....	15
Opis riešenia	15
Porovnanie s vlastnou implementáciou (BST)	15
Vyhodnotenie	19

Cieľ práce

Cieľom projektu v rámci tohto zadania je porovnať viacero implementácií dátových štruktúr z hľadiska efektivity operácií **insert** a **search** v rozličných situáciách (bez implementácie operácie delete) :

- vlastná implementácia **binárneho vyhľadávacieho stromu** (BVS) s ľubovoľným algoritmom na vyvažovanie, napr. AVL, Červeno-Čierne stromy, (2,3) stromy, (2,3,4) stromy, Splay stromy, ...
- porovnanie prevzatej implementácie BVS s iným algoritmom na vyvažovanie ako v predchádzajúcom bode
- vlastná implementácia **hashovania** s riešením kolízií podľa vlastného výberu, spolu s implementáciou operácie zväčšenia hashovacej tabuľky
- porovnanie prevzatej implementácie hashovania s riešením kolízií iným spôsobom ako v predchádzajúcom bode

Vlastná implementácia binárneho vyhľadávacieho stromu

Opis riešenia

Pre vlastnú implementáciu binárneho vyhľadávacieho stromu som zvolila **AVL algoritmus** na vyvažovanie (Adelson-Velsky and Landis), v ktorom sa pre každý uzol rozdiel výšky dvoch podstromov detských uzlov líšia najviac o jednotku. Hľadanie aj vkladanie majú zložitosť $O(\log n)$ v priemernom aj najhoršom prípade.

Pre efektívnosť a prehľadnosť kódu som definovala **pomocné funkcionality** :

```
#define compare(a, b) ((a > b) ? a : b)
#define dlzkaPodstromu(node) ((node == NULL) ? 0 : node->dlzkaPodstromu)
#define rozdielHlbok(node) ((node == NULL) ? 0 : (dlzkaPodstromu(node->left) - dlzkaPodstromu(node->right)))
#define maxDlзка(node) (compare(dlзkaPodstromu(node->left), dlзkaPodstromu(node->right)) + 1)
#define velkostPola(pole) (sizeof (pole) / sizeof (char *))
```

Štruktúra, s ktorou v programe pracujem, vyzerá nasledovne :

```
// struktura zvierata
typedef struct node {
    int pocetNoh; // hlavny key
    int pocetOci;
    char nazovZvierata[20];

    struct node *left;
    struct node *right;

    int dlzkaPodstromu;
} ZVIERA;
```

Štruktúra predstavuje **konkrétne zviera**, ktoré má pomenovanie (srnka, medveď...), určitý (náhodný) počet nôh a (iný náhodný počet) očí.

Funkcia insert

Rekurzívna funkcia vkladania do stromu vkladá uzol tak, ako keby bol nevyvážený, a potom volá funkciu, ktorá rotuje uzly, ktoré sa počas vkladania stali nevyváženými.

```
struct node *insert(struct node *node, int pocetNoh, int pocetOci,  
char *nazovZvierata) {
```

Parameter na základe ktorého uzol umiestňuje je „počet nôh“. Pokiaľ je uzol prázdny (NULL), alokuje preň pamäť a umiestni vstupné parametre ako dáta. Ukazovatele na child uzly sa nastaví a NULL, a počiatočná dĺžka podstromu na 1 (výsledná dĺžka sa vyráta vo funkcii AVL).

Po alokovaní sa volá funkcia AVL na rotáciu nevyvážených uzlov.

Pokiaľ uzol nie je prázdny (NULL), funkcia kontroluje duplicitu kľúča (počet nôh), a posúva sa v strome doprava/dolava podľa veľkosti kľúča v existujúcich uzloch, až kým nenájde list stromu za ktorý nový uzol patrí.

Funkcia AVL

Ako prvá funkcia zistí dĺžku podstromu aktuálneho uzlu ako maximálnu veľkosť dĺžok jeho detí. Premenná rozdiel reprezentuje koeficient vyváženosti uzla, ktorá sa získava z týchto dĺžok.

Koeficient vyváženosti uzla je výška jeho ľavého podstromu mínus výška jeho pravého podstromu. Uzol s koeficientom vyváženosti 1, 0 alebo -1 sa považuje za vyvážený. Uzol s koeficientom vyváženosti -2 alebo 2 sa považuje za nevyvážený a vyžaduje vyváženie stromu.

Ak koeficient > 1 :

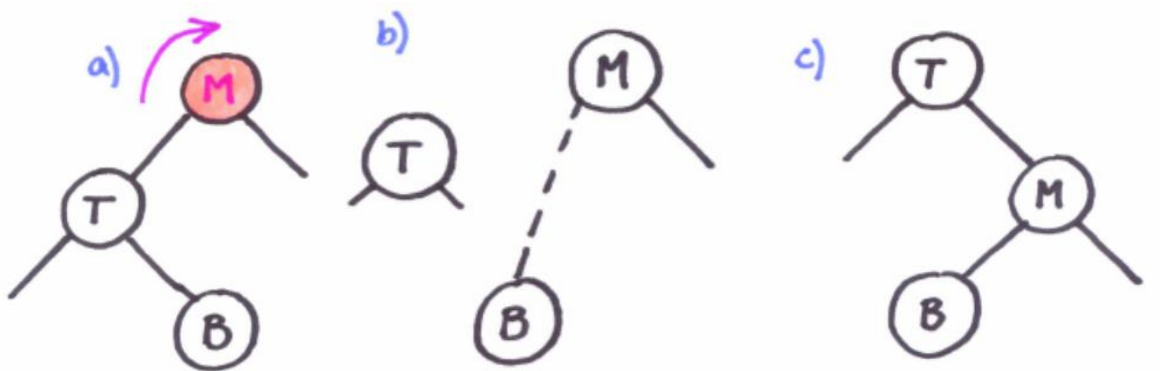
Strom prevažuje v ľavej časti – podľa toho, či je kľúč aktuálneho uzla väčší alebo menší ako kľúč jeho ľavého potomka funkcia rozhodne, či má po rotácii byť aktuálny uzol pravým alebo ľavým dieťaťom, a podľa toho volá funkciu rotateRight(node) ak je jeho kľúč menší, a funkciu leftRight(node) ak je jeho kľúč väčší.

Ak koeficient < -1 :

Strom prevažuje v pravej časti – podľa toho, či je kľúč aktuálneho uzla väčší alebo menší ako kľúč jeho pravého potomka funkcia rozhodne, či má po rotácii byť aktuálny uzol pravým alebo ľavým dieťaťom, a podľa toho volá funkciu rightLeft(node) ak je jeho kľúč menší, a funkciu rotateLeft(node) ak je jeho kľúč väčší.

Funkcia rotateRight

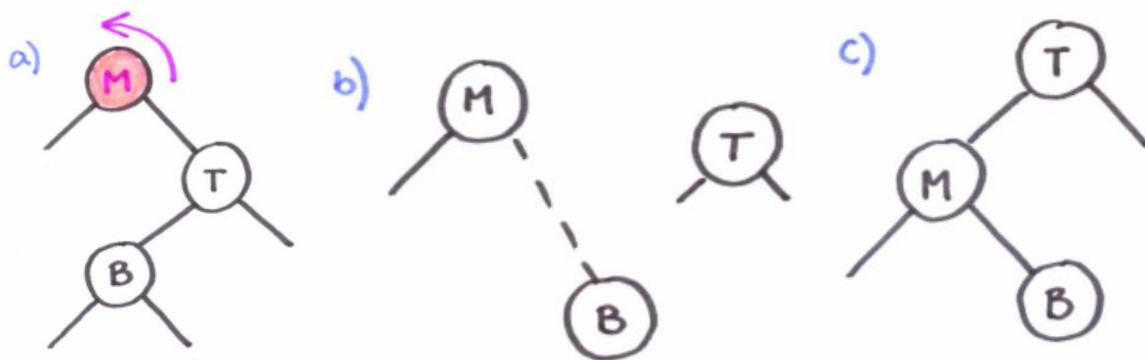
Je potrebné kontrolovať, či vstupný uzol ukazuje na existujúce dieťa, pretože pri otočení prázdny (NULL) uzol nemôže ukazovať na existujúci uzol.



Ak k rotácií dôjde, na záver sa uzlom vypočíta dĺžka ich podstromu.

Funkcia rotateLeft

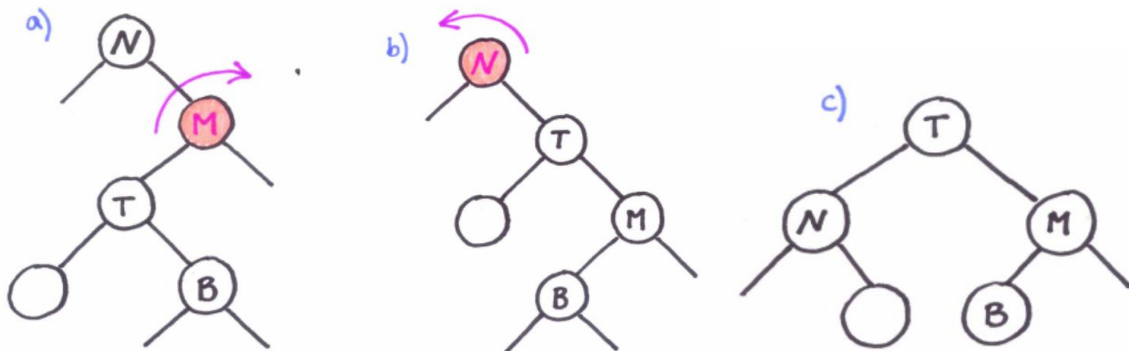
Rovnako ako pri rotateRight, je potrebné kontrolovať, či vstupný uzol ukazuje na existujúce dieťa.



Ak k rotácií dôjde, na záver sa uzlom vypočíta dĺžka ich podstromu.

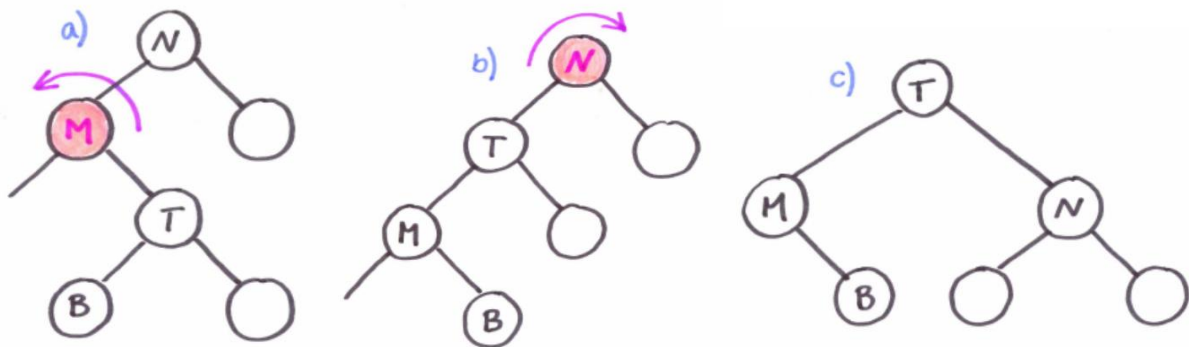
Funkcia rightLeft

Táto funkcia najskôr volá funkciu rotateRight pre pravé dieťa aktuálneho uzlu, a potom rotateLeft pre aktuálny uzol. Kontroluje či nie je pravé dieťa prázdne (NULL), aby bolo možné rotáciu vykonať.



Funkcia leftRight

Táto funkcia najskôr volá funkciu rotateLeft pre ľavé dieťa aktuálneho uzlu, a potom rotateRight pre aktuálny uzol. Kontroluje či nie je ľavé dieťa prázdne (NULL), aby bolo možné rotáciu vykonať.



Funkcia search

Rekurzívna funkcia, pokiaľ je uzol prázdny (NULL) údaje sa nepodarilo nájsť, inak postupuje stromom doprava/dolava podľa veľkosti hodnoty kľúča aktuálneho uzla a vstupného parametra. Ak sa zhoduje s kľúčom uzla, je to želaný uzol, pretože sa pri vkladaní kľúče neopakujú (počet nôh).

Funkcia printOut

Pomocná funkcia pre výpis. Pri vstupnom parametri TRUE vypíše uzly zostupne, pri FALSE vzostupne.

Testy

<p>----- TEST CISLO 1 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (100041 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 10001,-> pocet nevlozenych duplikatov: 90040,-> pocet operacii otacania: 7020,z toho 3520 doprava a 3500 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.031 s (0.003100 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (100041 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 100041,-> pocet nenajdenych: 0 <p>VYSLEDNY CAS 0.018 s (0.000180 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 2 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (132615 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 10001,-> pocet nevlozenych duplikatov: 122614,-> pocet operacii otacania: 6953,z toho 3481 doprava a 3472 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.053 s (0.005299 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (132615 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 132615,-> pocet nenajdenych: 0 <p>VYSLEDNY CAS 0.024 s (0.000181 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 3 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (128015 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 10001,-> pocet nevlozenych duplikatov: 118014,-> pocet operacii otacania: 6959,z toho 3499 doprava a 3460 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.053 s (0.005299 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (128015 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 128015,-> pocet nenajdenych: 0 <p>VYSLEDNY CAS 0.024 s (0.000187 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 4 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (101306 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 10001,-> pocet nevlozenych duplikatov: 91305,-> pocet operacii otacania: 6998,z toho 3475 doprava a 3523 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.041 s (0.004100 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (101306 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 101306,-> pocet nenajdenych: 0 <p>VYSLEDNY CAS 0.019 s (0.000188 ms/prvok)</p>	<p>----- TEST CISLO 11 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (103349 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 10001,-> pocet nevlozenych duplikatov: 93348,-> pocet operacii otacania: 6995,z toho 3521 doprava a 3474 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.035 s (0.003500 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (103349 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 103349,-> pocet nenajdenych: 0 <p>VYSLEDNY CAS 0.017 s (0.000164 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 12 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (121156 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 10001,-> pocet nevlozenych duplikatov: 111155,-> pocet operacii otacania: 6963,z toho 3497 doprava a 3466 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.040 s (0.004000 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (121156 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 121156,-> pocet nenajdenych: 0 <p>VYSLEDNY CAS 0.022 s (0.000182 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 13 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (109959 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 10001,-> pocet nevlozenych duplikatov: 99958,-> pocet operacii otacania: 6895,z toho 3437 doprava a 3458 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.041 s (0.004100 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (109959 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 109959,-> pocet nenajdenych: 0 <p>VYSLEDNY CAS 0.021 s (0.000191 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 14 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (111629 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 10001,-> pocet nevlozenych duplikatov: 101628,-> pocet operacii otacania: 6904,z toho 3442 doprava a 3462 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.040 s (0.004000 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (111629 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 111629,-> pocet nenajdenych: 0 <p>VYSLEDNY CAS 0.019 s (0.000170 ms/prvok)</p>
---	---

<p>----- TEST CISLO 5 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (101661 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 10001,-> pocet nevlozenych duplikatov: 91660,-> pocet operacii otacania: 6946, z toho 3451 doprava a 3495 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.043 s (0.004300 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (101661 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 101661,-> pocet nenajdenych: 0 <p>VYSLEDNY CAS 0.020 s (0.000197 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 6 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (126221 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 10001,-> pocet nevlozenych duplikatov: 116220,-> pocet operacii otacania: 7157, z toho 3631 doprava a 3526 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.052 s (0.005199 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (126221 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 126221,-> pocet nenajdenych: 0 <p>VYSLEDNY CAS 0.021 s (0.000166 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 7 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (105915 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 10001,-> pocet nevlozenych duplikatov: 95914,-> pocet operacii otacania: 6817, z toho 3355 doprava a 3462 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.034 s (0.003400 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (105915 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 105915,-> pocet nenajdenych: 0 <p>VYSLEDNY CAS 0.017 s (0.000161 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 8 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (118055 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 10001,-> pocet nevlozenych duplikatov: 108054,-> pocet operacii otacania: 7062, z toho 3548 doprava a 3514 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.039 s (0.003900 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (118055 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 118055,-> pocet nenajdenych: 0 <p>VYSLEDNY CAS 0.020 s (0.000169 ms/prvok)</p>	<p>----- TEST CISLO 15 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (110003 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 10001,-> pocet nevlozenych duplikatov: 100002,-> pocet operacii otacania: 7156, z toho 3571 doprava a 3585 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.039 s (0.003900 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (110003 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 110003,-> pocet nenajdenych: 0 <p>VYSLEDNY CAS 0.019 s (0.000173 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 16 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (107612 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 10001,-> pocet nevlozenych duplikatov: 97611,-> pocet operacii otacania: 6940, z toho 3426 doprava a 3514 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.040 s (0.004000 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (107612 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 107612,-> pocet nenajdenych: 0 <p>VYSLEDNY CAS 0.020 s (0.000186 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 17 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (126403 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 10001,-> pocet nevlozenych duplikatov: 116402,-> pocet operacii otacania: 6880, z toho 3459 doprava a 3421 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.048 s (0.004800 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (126403 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 126403,-> pocet nenajdenych: 0 <p>VYSLEDNY CAS 0.023 s (0.000182 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 18 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (116805 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 10000,-> pocet nevlozenych duplikatov: 106805,-> pocet operacii otacania: 6843, z toho 3428 doprava a 3415 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.035 s (0.003500 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (116805 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 116794,-> pocet nenajdenych: 11 <p>VYSLEDNY CAS 0.016 s (0.000137 ms/prvok)</p>
---	---

<p>----- TEST CISLO 9 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (119197 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 10001,-> pocet nevlozenych duplikatov: 109196,-> pocet operacii otacania: 7053, z toho 3481 doprava a 3572 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.043 s (0.004300 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (119197 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 119197,-> pocet nenajdenych: 0 <p>VYSLEDNY CAS 0.020 s (0.000168 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 10 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (104615 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 10001,-> pocet nevlozenych duplikatov: 94614,-> pocet operacii otacania: 6977, z toho 3497 doprava a 3480 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.040 s (0.004000 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (104615 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 104615,-> pocet nenajdenych: 0 <p>VYSLEDNY CAS 0.017 s (0.000163 ms/prvok)</p>	<p>----- TEST CISLO 19 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (110782 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 10001,-> pocet nevlozenych duplikatov: 100781,-> pocet operacii otacania: 7006, z toho 3496 doprava a 3510 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.032 s (0.003200 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (110782 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 110782,-> pocet nenajdenych: 0 <p>VYSLEDNY CAS 0.020 s (0.000181 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 20 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (105785 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 10001,-> pocet nevlozenych duplikatov: 95784,-> pocet operacii otacania: 7069, z toho 3563 doprava a 3506 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.039 s (0.003900 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (105785 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 105785,-> pocet nenajdenych: 0 <p>VYSLEDNY CAS 0.018 s (0.000170 ms/prvok)</p>
---	--

Vyhodnotenie

čas pre **vkładanie**:

- pod 1.000 prvkov - 0.001 s (0.001043 ms/prvok)
- pod 10.000 prvkov - 0.006 s (0.000947 ms/prvok)
- pod 100.000 prvkov - 0.047 s (0.004700 ms/prvok)
- pod 500.000 prvkov - 0.171 s (0.017098 ms/prvok)
- pod 1.000.000 prvkov - 0.288 s (0.028797 ms/prvok)

čas pre **hľadanie**:

- pod 1.000 prvkov - 0.001 s (0.010526 ms/prvok)
- pod 10.000 prvkov - 0.002 s (0.000308 ms/prvok)
- pod 100.000 prvkov - 0.017 s (0.000170 ms/prvok)
- pod 500.000 prvkov - 0.084 s (0.000168 ms/prvok)
- pod 1.000.000 prvkov - 0.134 s (0.000134 ms/prvok)

O niečo lepšie výsledky vychádzajú pri **hľadaní**, čím viac prvkov sa spracúva tým je rozdiel zjavnejší (ale stále minimálny).

Všeobecne je časová náročnosť pre vkládanie aj hľadanie v BST rovná $O(\log n)$.

Prevzatá implementácia binárneho vyhľadávacieho stromu

Opis riešenia

Ide o binárny vyhľadávací strom typu **Red-black tree** - implementácia je prevzatá zo stránky <https://www.programiz.com/dsa/red-black-tree>, a funkcia vyhľadávania bola doplnená zo stránky <https://www.codesdope.com/blog/article/binary-search-tree-in-c/>, pretože v prvom kóde chýbala, a v druhom nič iné okrem vyhľadávania nebolo plne funkčné, a lepšiu implementáciu som nevedela nájsť.

Červeno-čierny strom musí spĺňať nasledujúce **pravidlá**:

- Každý uzol je buď červený, alebo čierny.
- Koreň je čierny.
- Listy (nil) sú pokladané za čierne vrcholy.
- Každý červený vrchol má dva čierne synov.
- Každá cesta z jedného vrcholu do jeho listov obsahuje rovnaký počet čiernych vrcholov.

Kód som **doplnila** o definíciu výpočtu veľkosti poľa a globálne premenné pre spustenie testovacej funkcie individuálne v danom súbore len pre tento strom. Taktiež som do štruktúry uzla pridala ďalší int a string, pre porovnateľnosť s vlastnou implementáciou. Toto pridanie si vyžiadalo iba minimálne zmeny kódu, a to hlavne vo funkcii insertion pri vytváraní nového uzla (resp. vo funkcii createNode).

Porovnanie s vlastnou implementáciou

----- TEST CISLO 1 -----	----- TEST CISLO 11 -----
TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (200041 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 32700, -> pocet nevlozenych duplikatov: 167341, -> pocet operacii otacania: 22868, z toho 11381 doprava a 11487 dolava VYSLEDNY CAS 0.094 s (0.002875 ms/prvok)	TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (217470 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 32720, -> pocet nevlozenych duplikatov: 184750, -> pocet operacii otacania: 22817, z toho 11387 doprava a 11430 dolava VYSLEDNY CAS 0.084 s (0.002567 ms/prvok)
TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (200041 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 32682, -> pocet nevlozenych duplikatov: 167359 VYSLEDNY CAS 0.047 s (0.001438 ms/prvok)	TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (217470 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 32728, -> pocet nevlozenych duplikatov: 184742 VYSLEDNY CAS 0.045 s (0.001375 ms/prvok)
TEST HLADANIA V AVL STROME (200041 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 199624, -> pocet nenajdenych: 417 VYSLEDNY CAS 0.035 s (0.000175 ms/prvok)	TEST HLADANIA V AVL STROME (217470 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 217178, -> pocet nenajdenych: 292 VYSLEDNY CAS 0.040 s (0.000184 ms/prvok)
TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (200041 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 199468, -> pocet nenajdenych: 573 VYSLEDNY CAS 0.038 s (0.000191 ms/prvok)	TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (217470 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 217210, -> pocet nenajdenych: 260 VYSLEDNY CAS 0.043 s (0.000198 ms/prvok)

<p>----- TEST CISLO 2 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (209546 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32704,-> pocet nevlozenych duplikatov: 176842,-> pocet operacii otacania: 22736,z toho 11355 doprava a 11381 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.074 s (0.002263 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (209546 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32707,-> pocet nevlozenych duplikatov: 176839 <p>VYSLEDNY CAS 0.042 s (0.001284 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (209546 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 209155,-> pocet nenajdenych: 391 <p>VYSLEDNY CAS 0.038 s (0.000182 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (209546 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 209136,-> pocet nenajdenych: 410 <p>VYSLEDNY CAS 0.038 s (0.000182 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 3 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (228349 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32734,-> pocet nevlozenych duplikatov: 195615,-> pocet operacii otacania: 22991,z toho 11487 doprava a 11504 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.085 s (0.002597 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (228349 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32737,-> pocet nevlozenych duplikatov: 195612 <p>VYSLEDNY CAS 0.053 s (0.001619 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (228349 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 228129,-> pocet nenajdenych: 220 <p>VYSLEDNY CAS 0.045 s (0.000197 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (228349 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 228111,-> pocet nenajdenych: 238 <p>VYSLEDNY CAS 0.040 s (0.000175 ms/prvok)</p>	<p>----- TEST CISLO 12 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (216535 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32724,-> pocet nevlozenych duplikatov: 183811,-> pocet operacii otacania: 23016,z toho 11468 doprava a 11548 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.078 s (0.002384 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (216535 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32714,-> pocet nevlozenych duplikatov: 183821 <p>VYSLEDNY CAS 0.042 s (0.001284 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (216535 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 216236,-> pocet nenajdenych: 299 <p>VYSLEDNY CAS 0.039 s (0.000180 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (216535 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 216175,-> pocet nenajdenych: 360 <p>VYSLEDNY CAS 0.043 s (0.000199 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 13 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (205740 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32697,-> pocet nevlozenych duplikatov: 173043,-> pocet operacii otacania: 22938,z toho 11441 doprava a 11497 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.083 s (0.002538 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (205740 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32703,-> pocet nevlozenych duplikatov: 173037 <p>VYSLEDNY CAS 0.042 s (0.001284 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (205740 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 205258,-> pocet nenajdenych: 482 <p>VYSLEDNY CAS 0.037 s (0.000180 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (205740 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 205310,-> pocet nenajdenych: 430 <p>VYSLEDNY CAS 0.038 s (0.000185 ms/prvok)</p>
---	---

<p>----- TEST CISLO 4 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (214823 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32708,-> pocet nevlozenych duplikatov: 182115,-> pocet operacii otacania: 23007,z toho 11463 doprava a 11544 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.083 s (0.002538 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (214823 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32705,-> pocet nevlozenych duplikatov: 182118 <p>VYSLEDNY CAS 0.048 s (0.001468 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (214823 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 214399,-> pocet nenajdenych: 424 <p>VYSLEDNY CAS 0.039 s (0.000182 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (214823 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 214432,-> pocet nenajdenych: 391 <p>VYSLEDNY CAS 0.038 s (0.000177 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 5 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (219472 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32728,-> pocet nevlozenych duplikatov: 186744,-> pocet operacii otacania: 22735,z toho 11355 doprava a 11380 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.080 s (0.002444 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (219472 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32734,-> pocet nevlozenych duplikatov: 186738 <p>VYSLEDNY CAS 0.048 s (0.001466 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (219472 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 219205,-> pocet nenajdenych: 267 <p>VYSLEDNY CAS 0.046 s (0.000210 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (219472 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 219245,-> pocet nenajdenych: 227 <p>VYSLEDNY CAS 0.041 s (0.000187 ms/prvok)</p>	<p>----- TEST CISLO 14 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (207169 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32709,-> pocet nevlozenych duplikatov: 174460,-> pocet operacii otacania: 22920,z toho 11503 doprava a 11417 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.090 s (0.002752 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (207169 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32714,-> pocet nevlozenych duplikatov: 174455 <p>VYSLEDNY CAS 0.043 s (0.001314 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (207169 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 206788,-> pocet nenajdenych: 381 <p>VYSLEDNY CAS 0.038 s (0.000184 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (207169 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 206838,-> pocet nenajdenych: 331 <p>VYSLEDNY CAS 0.037 s (0.000179 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 15 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (200472 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32693,-> pocet nevlozenych duplikatov: 167779,-> pocet operacii otacania: 22766,z toho 11392 doprava a 11374 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.078 s (0.002386 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (200472 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32695,-> pocet nevlozenych duplikatov: 167777 <p>VYSLEDNY CAS 0.046 s (0.001407 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (200472 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 200000,-> pocet nenajdenych: 472 <p>VYSLEDNY CAS 0.039 s (0.000195 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (200472 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 200021,-> pocet nenajdenych: 451 <p>VYSLEDNY CAS 0.034 s (0.000170 ms/prvok)</p>
---	---

<p>----- TEST CISLO 6 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (200414 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32690,-> pocet nevlozenych duplikatov: 167724,-> pocet operacii otacania: 22713,z toho 11347 doprava a 11366 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.072 s (0.002203 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (200414 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32703,-> pocet nevlozenych duplikatov: 167711 <p>VYSLEDNY CAS 0.042 s (0.001284 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (200414 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 199932,-> pocet nenajdenych: 482 <p>VYSLEDNY CAS 0.040 s (0.000200 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (200414 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 200032,-> pocet nenajdenych: 382 <p>VYSLEDNY CAS 0.040 s (0.000200 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 7 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (217919 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32740,-> pocet nevlozenych duplikatov: 185179,-> pocet operacii otacania: 22895,z toho 11410 doprava a 11485 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.078 s (0.002382 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (217919 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32732,-> pocet nevlozenych duplikatov: 185187 <p>VYSLEDNY CAS 0.046 s (0.001405 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (217919 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 217758,-> pocet nenajdenych: 161 <p>VYSLEDNY CAS 0.045 s (0.000207 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (217919 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 217675,-> pocet nenajdenych: 244 <p>VYSLEDNY CAS 0.044 s (0.000202 ms/prvok)</p>	<p>----- TEST CISLO 16 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (208994 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32713,-> pocet nevlozenych duplikatov: 176281,-> pocet operacii otacania: 22804,z toho 11397 doprava a 11407 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.079 s (0.002415 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (208994 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32713,-> pocet nevlozenych duplikatov: 176281 <p>VYSLEDNY CAS 0.046 s (0.001406 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (208994 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 208638,-> pocet nenajdenych: 356 <p>VYSLEDNY CAS 0.038 s (0.000182 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (208994 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 208621,-> pocet nenajdenych: 373 <p>VYSLEDNY CAS 0.037 s (0.000177 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 17 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (200312 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32695,-> pocet nevlozenych duplikatov: 167617,-> pocet operacii otacania: 22817,z toho 11407 doprava a 11410 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.073 s (0.002233 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (200312 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32688,-> pocet nevlozenych duplikatov: 167624 <p>VYSLEDNY CAS 0.043 s (0.001315 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (200312 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 199837,-> pocet nenajdenych: 475 <p>VYSLEDNY CAS 0.040 s (0.000200 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (200312 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 199781,-> pocet nenajdenych: 531 <p>VYSLEDNY CAS 0.039 s (0.000195 ms/prvok)</p>
---	---

<p>----- TEST CISLO 8 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (232019 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32739,-> pocet nevlozenych duplikatov: 199280,-> pocet operacii otacania: 22815,z toho 11417 doprava a 11398 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.081 s (0.002474 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (232019 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32741,-> pocet nevlozenych duplikatov: 199278 <p>VYSLEDNY CAS 0.051 s (0.001558 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (232019 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 231785,-> pocet nenajdenych: 234 <p>VYSLEDNY CAS 0.047 s (0.000203 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (232019 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 231834,-> pocet nenajdenych: 185 <p>VYSLEDNY CAS 0.044 s (0.000190 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 9 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (227189 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32742,-> pocet nevlozenych duplikatov: 194447,-> pocet operacii otacania: 22891,z toho 11431 doprava a 11460 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.086 s (0.002627 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (227189 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32745,-> pocet nevlozenych duplikatov: 194444 <p>VYSLEDNY CAS 0.047 s (0.001435 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (227189 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 227019,-> pocet nenajdenych: 170 <p>VYSLEDNY CAS 0.045 s (0.000198 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (227189 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 227018,-> pocet nenajdenych: 171 <p>VYSLEDNY CAS 0.046 s (0.000203 ms/prvok)</p>	<p>----- TEST CISLO 18 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (224277 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32741,-> pocet nevlozenych duplikatov: 191536,-> pocet operacii otacania: 22770,z toho 11418 doprava a 11352 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.082 s (0.002505 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (224277 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32723,-> pocet nevlozenych duplikatov: 191554 <p>VYSLEDNY CAS 0.046 s (0.001406 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (224277 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 224058,-> pocet nenajdenych: 219 <p>VYSLEDNY CAS 0.042 s (0.000187 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (224277 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 223952,-> pocet nenajdenych: 325 <p>VYSLEDNY CAS 0.044 s (0.000196 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 19 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (202027 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32695,-> pocet nevlozenych duplikatov: 169332,-> pocet operacii otacania: 22857,z toho 11404 doprava a 11453 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.078 s (0.002386 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (202027 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 32691,-> pocet nevlozenych duplikatov: 169336 <p>VYSLEDNY CAS 0.041 s (0.001254 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (202027 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 201564,-> pocet nenajdenych: 463 <p>VYSLEDNY CAS 0.036 s (0.000179 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (202027 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 201525,-> pocet nenajdenych: 502 <p>VYSLEDNY CAS 0.044 s (0.000218 ms/prvok)</p>
---	---

----- TEST CISLO 10 -----	----- TEST CISLO 20 -----
TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (223140 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 32715, -> pocet nevlozenych duplikatov: 190425, -> pocet operacii otacania: 22833, z toho 11469 doprava a 11364 dolava VYSLEDNY CAS 0.081 s (0.002476 ms/prvok)	TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (226811 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 32733, -> pocet nevlozenych duplikatov: 194078, -> pocet operacii otacania: 22845, z toho 11456 doprava a 11389 dolava VYSLEDNY CAS 0.090 s (0.002750 ms/prvok)
TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (223140 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 32740, -> pocet nevlozenych duplikatov: 190400 VYSLEDNY CAS 0.044 s (0.001344 ms/prvok)	TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (226811 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 32732, -> pocet nevlozenych duplikatov: 194079 VYSLEDNY CAS 0.047 s (0.001436 ms/prvok)
TEST HLADANIA V AVL STROME (223140 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 222761, -> pocet nenajdenych: 379 VYSLEDNY CAS 0.042 s (0.000189 ms/prvok)	TEST HLADANIA V AVL STROME (226811 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 226601, -> pocet nenajdenych: 210 VYSLEDNY CAS 0.043 s (0.000190 ms/prvok)
TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (223140 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 222948, -> pocet nenajdenych: 192 VYSLEDNY CAS 0.045 s (0.000202 ms/prvok)	TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (226811 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 226559, -> pocet nenajdenych: 252 VYSLEDNY CAS 0.047 s (0.000207 ms/prvok)

VYSLEDOK VKLADANIE:

pocet vlozenych prvkov:

AVL: 654320,

RB: 654327,

cas potrebný na beh:

AVL: 1.629 sekund,

RB: 0.909 sekund,

pomer vložený prvok / sekundu:

AVL: 401669.736034,

RB: 719831.683168,

VYSLEDOK HLADANIE:

pocet najdenych prvkov:

AVL: 4275925,

RB: 4275891,

cas potrebný na beh:

AVL: 0.814 sekund,

RB: 0.820 sekund,

pomer najdený prvok / sekundu:

AVL: 5252979.115479,

RB: 5214501.219512,

* celkový počet pokusov o vloženie a vyhľadanie bol rovnaký pre oba stromy

Vyhodnotenie

Všeobecne, Red-Black stromy poskytujú rýchlejšie vkladanie a odstraňovanie uzlov ako AVL stromy, pretože je potrebné vykonať menej rotácií. AVL stromy sa používajú pre rýchle vyhľadanie uzlov.

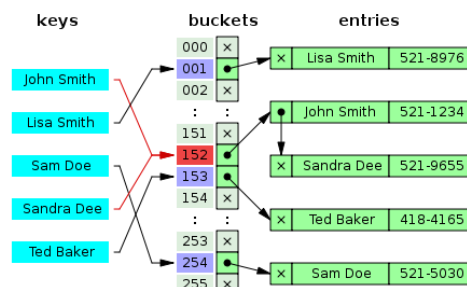
Toto porovnanie potvrdzuje všeobecné tvrdenie – moja implementácia AVL stromu je o niečo rýchlejšia vo vyhľadávaní, a prevzatá implementácia Red-Black stromu je zas rýchlejšia vo vkladaní.

Prevzatá implementácia HASH funkcie

Opis riešenia

Ide o hashovaciu funkciu, ktorá je prevzatá zo stránky <https://www.journaldev.com/35238/hash-table-in-c-plus-plus#conclusion>

Kolízie sú riešené metódou **Separate Chaining**. Kedykoľvek dôjde ku **kolízii**, uložíme kolidujúce položky na rovnakom indexe do zoznamu **Overflow Bucket List**. Preto nebudeme musieť mazať žiadne existujúce záznamy z našej hash tabuľky.



Vzhľadom na prepojené zoznamy, ktoré majú časovú zložitosť $O(n)$ na vloženie, hľadanie a odstránenie, v prípade kolízie budeme mať tiež najhorší čas prístupu $O(n)$.

Kód som **doplnila** o globálne premenné pre spustenie testovacej funkcie (a testovaciu funkciu), a kód som implementovala do jazyka C.

Porovnanie s vlastnou implementáciou (BST)

Prevzatá HASH funkcia	Vlastná AVL funkcia
<p>----- TEST CISLO: 1 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (41 prvkov) :</p> <p>-> pocet vlozenych zvierat: 33</p> <p>-> pocet duplikatov: 8</p> <p>VYSLEDNY CAS 0.000 s (0.000000 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (41 prvkov) :</p> <p>-> pocet najdenych zvierat: 12,</p> <p>-> pocet nenajdenych: 29</p> <p>VYSLEDNY CAS 0.000 s (0.000000 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO: 2 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (22355 prvkov) :</p> <p>-> pocet vlozenych zvierat: 4516</p> <p>-> pocet duplikatov: 17839</p> <p>VYSLEDNY CAS 0.007 s (0.001550 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (22355 prvkov) :</p> <p>-> pocet najdenych zvierat: 21982,</p> <p>-> pocet nenajdenych: 373</p> <p>VYSLEDNY CAS 0.001 s (0.000045 ms/prvok)</p>	<p>----- TEST CISLO 1 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (100041 prvkov) :</p> <p>-> pocet vlozenych zvierat: 10001,</p> <p>-> pocet nevlozenych duplikatov: 90040,</p> <p>VYSLEDNY CAS 0.031 s (0.003100 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (100041 prvkov) :</p> <p>-> pocet najdenych zvierat: 100041,</p> <p>-> pocet nenajdenych: 0</p> <p>VYSLEDNY CAS 0.018 s (0.000180 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 2 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (132615 prvkov) :</p> <p>-> pocet vlozenych zvierat: 10001,</p> <p>-> pocet nevlozenych duplikatov: 122614,</p> <p>VYSLEDNY CAS 0.053 s (0.005299 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (132615 prvkov) :</p> <p>-> pocet najdenych zvierat: 132615,</p> <p>-> pocet nenajdenych: 0</p> <p>VYSLEDNY CAS 0.024 s (0.000181 ms/prvok)</p>

<p>----- TEST CISLO: 3 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (21804 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 3997 -> pocet duplikatov: 17807 VYSLEDNY CAS 0.007 s (0.001751 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (21804 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 21614, -> pocet nenajdenych: 190 VYSLEDNY CAS 0.001 s (0.000046 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO: 4 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (31638 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 5915 -> pocet duplikatov: 25723 VYSLEDNY CAS 0.011 s (0.001860 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (31638 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 31079, -> pocet nenajdenych: 559 VYSLEDNY CAS 0.002 s (0.000064 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO: 5 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (24136 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 4961 -> pocet duplikatov: 19175 VYSLEDNY CAS 0.007 s (0.001411 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (24136 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 23469, -> pocet nenajdenych: 667 VYSLEDNY CAS 0.001 s (0.000043 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO: 6 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (2632 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 636 -> pocet duplikatov: 1996 VYSLEDNY CAS 0.000 s (0.000000 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (2632 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 2561, -> pocet nenajdenych: 71 VYSLEDNY CAS 0.000 s (0.000000 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO: 7 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (31321 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 5807 -> pocet duplikatov: 25514 VYSLEDNY CAS 0.011 s (0.001894 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (31321 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 30756, -> pocet nenajdenych: 565 VYSLEDNY CAS 0.002 s (0.000065 ms/prvok)</p>	<p>----- TEST CISLO 3 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (128015 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 10001, -> pocet nevlozenych duplikatov: 118014, VYSLEDNY CAS 0.053 s (0.005299 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (128015 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 128015, -> pocet nenajdenych: 0 VYSLEDNY CAS 0.024 s (0.000187 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 4 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (101306 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 10001, -> pocet nevlozenych duplikatov: 91305, VYSLEDNY CAS 0.041 s (0.004100 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (101306 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 101306, -> pocet nenajdenych: 0 VYSLEDNY CAS 0.019 s (0.000188 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 5 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (101661 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 10001, -> pocet nevlozenych duplikatov: 91660, VYSLEDNY CAS 0.043 s (0.004300 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (101661 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 101661, -> pocet nenajdenych: 0 VYSLEDNY CAS 0.020 s (0.000197 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 6 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (126221 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 10001, -> pocet nevlozenych duplikatov: 116220, VYSLEDNY CAS 0.052 s (0.005199 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (126221 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 126221, -> pocet nenajdenych: 0 VYSLEDNY CAS 0.021 s (0.000166 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 7 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (105915 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 10001, -> pocet nevlozenych duplikatov: 95914, VYSLEDNY CAS 0.034 s (0.003400 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (105915 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 105915, -> pocet nenajdenych: 0 VYSLEDNY CAS 0.017 s (0.000161 ms/prvok)</p>
--	---

<p>----- TEST CISLO: 8 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (22800 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 4296 -> pocet duplikatov: 18504 VYSLEDNY CAS 0.006 s (0.001397 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (22800 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 22599, -> pocet nenajdenych: 201 VYSLEDNY CAS 0.002 s (0.000088 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO: 9 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (13624 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 2647 -> pocet duplikatov: 10977 VYSLEDNY CAS 0.003 s (0.001133 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (13624 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 13363, -> pocet nenajdenych: 261 VYSLEDNY CAS 0.001 s (0.000075 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO: 10 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (18747 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 3557 -> pocet duplikatov: 15190 VYSLEDNY CAS 0.005 s (0.001406 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (18747 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 18419, -> pocet nenajdenych: 328 VYSLEDNY CAS 0.001 s (0.000054 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO: 11 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (26685 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 5222 -> pocet duplikatov: 21463 VYSLEDNY CAS 0.007 s (0.001340 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (26685 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 25971, -> pocet nenajdenych: 714 VYSLEDNY CAS 0.001 s (0.000039 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO: 12 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (241 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 113 -> pocet duplikatov: 128 VYSLEDNY CAS 0.001 s (0.008850 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (241 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 211, -> pocet nenajdenych: 30 VYSLEDNY CAS 0.000 s (0.000000 ms/prvok)</p>	<p>----- TEST CISLO 8 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (118055 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 10001, -> pocet nevlozenych duplikatov: 108054, VYSLEDNY CAS 0.039 s (0.003900 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (118055 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 118055, -> pocet nenajdenych: 0 VYSLEDNY CAS 0.020 s (0.000169 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 9 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (119197 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 10001, -> pocet nevlozenych duplikatov: 109196, VYSLEDNY CAS 0.043 s (0.004300 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (119197 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 119197, -> pocet nenajdenych: 0 VYSLEDNY CAS 0.020 s (0.000168 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 10 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (104615 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 10001, -> pocet nevlozenych duplikatov: 94614, VYSLEDNY CAS 0.040 s (0.004000 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (104615 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 104615, -> pocet nenajdenych: 0 VYSLEDNY CAS 0.017 s (0.000163 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 11 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (103349 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 10001, -> pocet nevlozenych duplikatov: 93348, VYSLEDNY CAS 0.035 s (0.003500 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (103349 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 103349, -> pocet nenajdenych: 0 VYSLEDNY CAS 0.017 s (0.000164 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 12 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (121156 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 10001, -> pocet nevlozenych duplikatov: 111155, VYSLEDNY CAS 0.040 s (0.004000 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (121156 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 121156, -> pocet nenajdenych: 0 VYSLEDNY CAS 0.022 s (0.000182 ms/prvok)</p>
---	---

<p>----- TEST CISLO: 13 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (14368 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 2722 -> pocet duplikatov: 11646 VYSLEDNY CAS 0.004 s (0.001470 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (14368 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 13979, -> pocet nenajdenych: 389 VYSLEDNY CAS 0.001 s (0.000072 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO: 14 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (30310 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 5702 -> pocet duplikatov: 24608 VYSLEDNY CAS 0.011 s (0.001929 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (30310 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 29839, -> pocet nenajdenych: 471 VYSLEDNY CAS 0.002 s (0.000067 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO: 15 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (17979 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 3575 -> pocet duplikatov: 14404 VYSLEDNY CAS 0.006 s (0.001678 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (17979 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 17670, -> pocet nenajdenych: 309 VYSLEDNY CAS 0.001 s (0.000057 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO: 16 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (7993 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 1588 -> pocet duplikatov: 6405 VYSLEDNY CAS 0.002 s (0.001259 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (7993 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 7925, -> pocet nenajdenych: 68 VYSLEDNY CAS 0.001 s (0.000126 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO: 17 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (17643 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 3284 -> pocet duplikatov: 14359 VYSLEDNY CAS 0.004 s (0.001218 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (17643 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 17211, -> pocet nenajdenych: 432 VYSLEDNY CAS 0.001 s (0.000058 ms/prvok)</p>	<p>----- TEST CISLO 13 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (109959 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 10001, -> pocet nevlozenych duplikatov: 99958, VYSLEDNY CAS 0.041 s (0.004100 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (109959 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 109959, -> pocet nenajdenych: 0 VYSLEDNY CAS 0.021 s (0.000191 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 14 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (111629 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 10001, -> pocet nevlozenych duplikatov: 101628, VYSLEDNY CAS 0.040 s (0.004000 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (111629 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 111629, -> pocet nenajdenych: 0 VYSLEDNY CAS 0.019 s (0.000170 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 15 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (110003 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 10001, -> pocet nevlozenych duplikatov: 100002, VYSLEDNY CAS 0.039 s (0.003900 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (110003 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 110003, -> pocet nenajdenych: 0 VYSLEDNY CAS 0.019 s (0.000173 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 16 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (107612 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 10001, -> pocet nevlozenych duplikatov: 97611, VYSLEDNY CAS 0.040 s (0.004000 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (107612 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 107612, -> pocet nenajdenych: 0 VYSLEDNY CAS 0.020 s (0.000186 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 17 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (126403 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 10001, -> pocet nevlozenych duplikatov: 116402, VYSLEDNY CAS 0.048 s (0.004800 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (126403 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 126403, -> pocet nenajdenych: 0 VYSLEDNY CAS 0.023 s (0.000182 ms/prvok)</p>
--	---

<p>----- TEST CISLO: 18 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (31505 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 5876 -> pocet duplikatov: 25629 VYSLEDNY CAS 0.008 s (0.001361 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (31505 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 31204, -> pocet nenajdenych: 301 VYSLEDNY CAS 0.002 s (0.000064 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO: 19 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (16754 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 3280 -> pocet duplikatov: 13474 VYSLEDNY CAS 0.004 s (0.001220 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (16754 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 16593, -> pocet nenajdenych: 161 VYSLEDNY CAS 0.001 s (0.000060 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO: 20 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (13578 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 2649 -> pocet duplikatov: 10929 VYSLEDNY CAS 0.003 s (0.001133 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (13578 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 13342, -> pocet nenajdenych: 236 VYSLEDNY CAS 0.001 s (0.000075 ms/prvok)</p>	<p>----- TEST CISLO 18 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (116805 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 10000, -> pocet nevlozenych duplikatov: 106805, VYSLEDNY CAS 0.035 s (0.003500 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (116805 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 116794, -> pocet nenajdenych: 11 VYSLEDNY CAS 0.016 s (0.000137 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 19 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (110782 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 10001, -> pocet nevlozenych duplikatov: 100781, VYSLEDNY CAS 0.032 s (0.003200 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (110782 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 110782, -> pocet nenajdenych: 0 VYSLEDNY CAS 0.020 s (0.000181 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 20 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (105785 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 10001, -> pocet nevlozenych duplikatov: 95784, VYSLEDNY CAS 0.039 s (0.003900 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (105785 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 105785, -> pocet nenajdenych: 0 VYSLEDNY CAS 0.018 s (0.000170 ms/prvok)</p>
---	---

VYSLEDOK VKLADANIE (HASH):

pocet vlozenych prvkov: 10720,
cas potrebný na beh: 0.016 sekund,
pomer vlozeny prvok / sekundu: 670000.000000

VYSLEDOK HLADANIE (HASH):

pocet najdenych prvkov: 47665
cas potrebný na beh: 0.006 sekund,
pomer najdeny prvok / sekundu: 7944166.666667,

VYSLEDOK VKLADANIE (AVL):

pocet vlozenych prvkov: 229813,
cas potrebný na beh: 0.198 sekund,
pomer vlozeny prvok / sekundu: 1160671.71717

VYSLEDOK HLADANIE (AVL):

pocet najdenych prvkov: 142916
cas potrebný na beh: 0.069 sekund,
pomer najdeny prvok / sekundu: 2071246.3768,

Vyhodnotenie

Vo všeobecnosti, priemerná časová komplexnosť je v BST rovná $O(\log n)$, a v hash tabuľke $O(1)$.

V tomto prípade, v pomere vložených prvkov za sekundu vyhráva binárny vyhľadávací strom s AVL vyvažovaním. Pri vyhľadávaní prvkov vyhráva hash funkcia.

To podporuje záver, že ak poznáte veľkosť vstupu, môžete použiť tabuľku hash. Pokiaľ veľkosťou vstupu nepoznate, mali by ste použiť BST. Tiež, ak po vložení všetkých údajov je vami sledovanou operáciou vyhľadávanie, potom by ste mali použiť tabuľku hash. Ak ale neustále vkladáte a aktualizujete údaje, je lepšie použitie na BST.

Preto použitie hash tabuľky a BST závisí od problému, ktorý je potrebné v danom prípade riešiť.