

# Vizualizácie

cd priloha/web, spustenie, requirements, ...

Cieľom tejto práce je nielen popísať *cache-oblivious* pamäťový model a rôzne dátové štruktúry v ňom, ale aj vytvoriť ich vizualizácie. Tie majú slúžiť na edukačné účely pre študentov (a učiteľov) a pomáhať pri pochopení ich fungovania.

Výsledkom práce sú vizualizácie demonštrujúce dátové štruktúry popísané v predchádzajúcich sekciách: *van Emde Boas* usporiadanie (sekcia ??) v statickom binárnom vyhľadávacom strome, usporiadané pole (??) a dynamický b-strom (??). Súčasťou je tiež simulácia *cache* (sekcia ??) s možnosťou voľby parametrov  $B$  a  $M$  - veľkosť bloku a celková veľkosť.

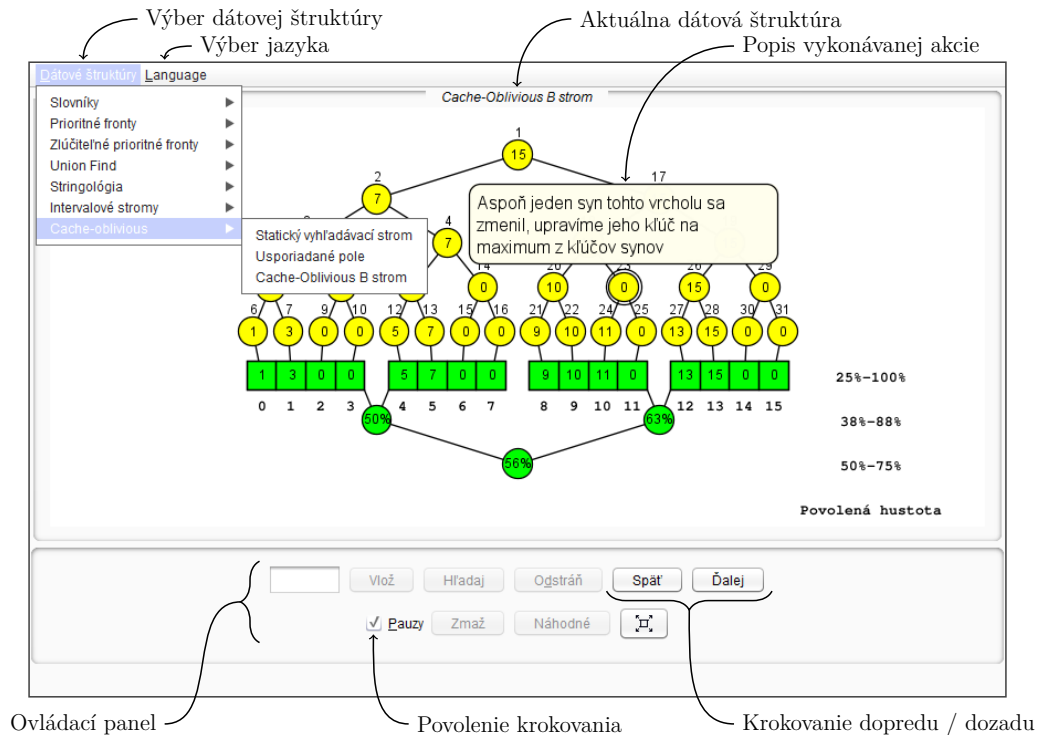
Existuje? nie nie je...

## 1.1 Gnarley trees

Tieto vizualizácie sú implementované ako rozšírenie programu *Gnarley trees*, ktorý vznikol ako súčasť bakalárskej práce Jakuba Kováča [12]. Tento nástroj na vizualizáciu (prevažne stromových) dátových štruktúr bol následne v bakalárskych prácach [11, 13, 15] a ročníkových projektoch rozšírený o mnohé ďalšie dátové štruktúry a v súčasnosti podporuje desiatky štruktúr, ako napríklad červeno-čierne, sufixové a intervalové stromy, *union-find*, haldy a mnohé ďalšie.

### 1.1.1 Funkcionalita

Program umožňuje užívateľom zobrazovať tieto štruktúry a manipulovať s nimi. Všetky operácie sú rozložené na malé, jednoduché kroky a každý je vysvetlený keď sa vykonáva. Je možné posúvať sa po krokoch dopredu, ale aj vracieť sa dozadu, a teda sa dá kedykoľvek vrátiť až k počiatočnému stavu. Toto je dôležité pri experimentovaní s danou štruktúrou, kedy dve rôzne operácie (alebo jedna operácia s dvoma rôznymi



Obrázok 1.1: Užívateľské rozhranie počas operácie vkladania kľúča 10 do dynamického *cache-oblivious* B-stromu (sekcia ??).

parametrami) spôsobia rôzne správanie a výsledky. Užívateľ má takto možnosť jednoducho sa po vykonaní prvej operácie vrátiť do predošlého stavu a preskúmať správanie druhej z nich.

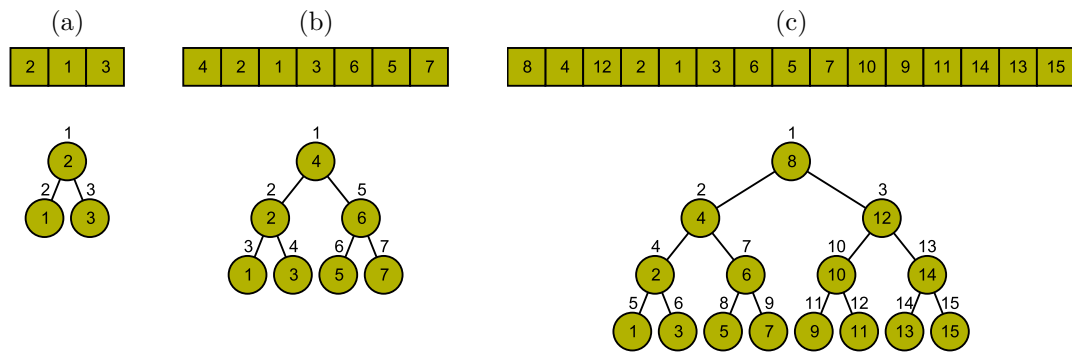
Celý program je taktiež dvojjazyčný - je možné prepnúť medzi angličtinou a slovenčinou, čo umožňuje širšie použitie týchto vizualizácií.

### 1.1.2 Prehľad programu

Program sa skladá z troch hlavných častí (obrázok 1.1). Najvrchnejšia časť okna tvorí hlavné menu, v ktorej môžeme voľiť dátové štruktúry a prepínať jazyk rozhrania. Dátové štruktúry sú pre prehľadnosť rozdelené do niekoľkých kategórií. Tie popísané a implementované v tejto práci sa nachádzajú v kategórii **Cache-oblivious**.

V spodnej časti okna sa nachádza ovládací panel, ktorý obsahuje vstupné pole pre hodnotu, ktorú chceme vyhľadať alebo vložiť a tlačidlá na vykonanie týchto akcií. Ďalej obsahuje tlačidlá na prechod do ďalšieho kroku a návrat do predchádzajúceho stavu s možnosťou toto krokovanie vypnúť.

Najväčšia, prostredná časť okna zobrazuje vizualizáciu aktuálnej dátovej štruktúry. Toto zobrazenie je vektorové a je možné ho posúvať, približovať a oddialovať. Zároveň sa tu zobrazujú informácie o aktuálne vykonávanej akcii (ak je povolené krokovanie) a ďalšie vizualizačné prvky ako šípky alebo význačné vrcholy.



Obrázok 1.2: Statické stromy rôznych veľkostí (výšok) vo *van Emde Boas* usporiadaní.

Podrobnejší popis užívateľského rozhrania a návod na používanie sa nachádza v bakalárskej práci Jakuba Kováča [12] v siedmej kapitole.

## 1.2 Statický strom

Najjednoduchšou dátovou štruktúrou je statický vyhľadávací strom. Implementovali sme vytvorenie tohto stromu a jeho uloženie v pamäti. Je možné strom zväčšiť alebo zmenšiť podľa preferencii - ukážky stromov rôznych veľkostí sú na obrázku 1.2. Čísla vo vnútorných vrcholoch sú kľúče, čísla nad vrcholom určujú jeho pozíciu v pamäti. Obdĺžnik nad stromom reprezentuje uloženie tohto stromu v poli. Vnútorné čísla sú opäť kľúče, pričom sú zoradené podľa svojich pozícií zľava (pozícia 1) doprava.

Medzi uložením vo *van Emde Boas* usporiadaní a klasickým *BFS* usporiadaní (ako v časti ??) je možné prepínať. Zmenia sa pritom čísla udávajúce pozície vrcholov v pamäti a ich poradie v poli nad stromom. Rozdiel medzi týmito dvoma usporiadaniami vidieť na obrázku 1.3. Pozície sa zhodujú s obrázkom ??.

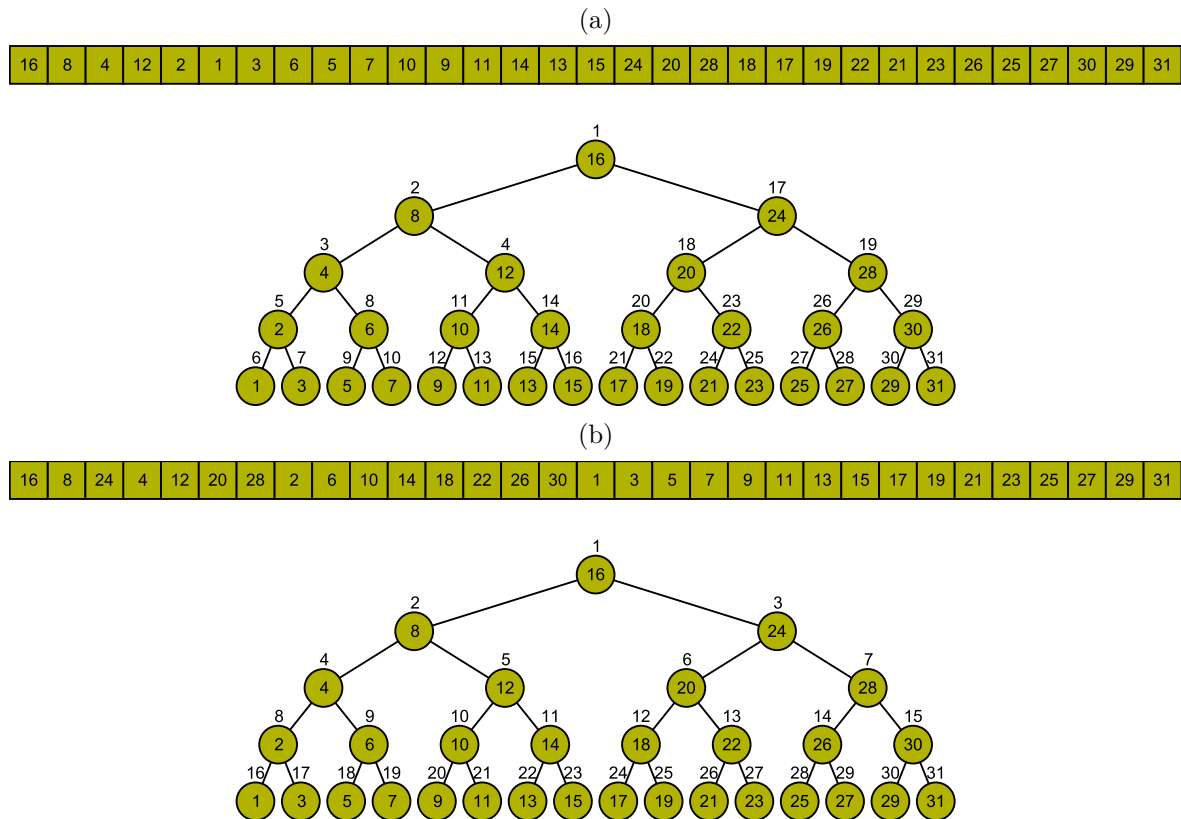
ref to  
subfi-  
gure

### 1.2.1 Simulácia *cache*

Porovnanie týchto dvoch usporiadaní je rozšírené o simuláciu *cache*. Užívateľ si môže zvoliť parametre *cache* - počet vrcholov  $B$ , ktoré sa zmestia do jedného bloku a počet blokov  $\frac{M}{B}$  v *cache*. Tiež je možné *cache* kedykoľvek vyprázdniť – odstrániť z nej všetky načítané bloky.

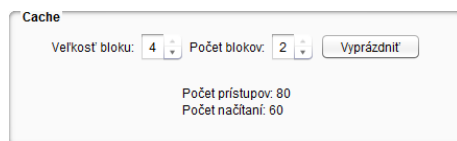
Táto simulácia zároveň počíta počet prístupov k vrcholom pri vyhľadávaní a počet presunutých blokov do *cache*. V najhoršom prípade by tieto dve čísla boli rovnaké (ak treba každý vrchol načítať osobitne) avšak pri *cache* s blokmi veľkosti  $B > 1$  a s *van Emde Boas* usporiadaním dochádza k podstatnému zlepšeniu - ušetreniu počtu presunutých blokov.

To môžeme vidieť na jednoduchom príklade, kedy v strome výšky 5 postupne vyhľadáme všetkých 16 kľúčov, ktoré sa nachádzajú v listoch tohto stromu. V oboch

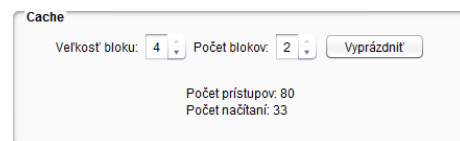


Obrázok 1.3: Rozdiel medzi *BFS* a *van Emde Boas* usporiadaním na strome výšky 5. Kľúče zostávajú rovnaké, líšia sa však ich pozície v pamäti reprezentované malými číslami nad vrcholmi a polom nad koreňom.

usporiadaniach bude počet prístupov rovnaký, avšak počet načítaní blokov z disku do *cache* je v tomto príklade pri *BFS* usporiadaní takmer dvakrát väčší ako pri *van Emde Boas* usporiadaní. Obrázok 1.4 ukazuje stav týchto štatistík po nájdení posledného listu.



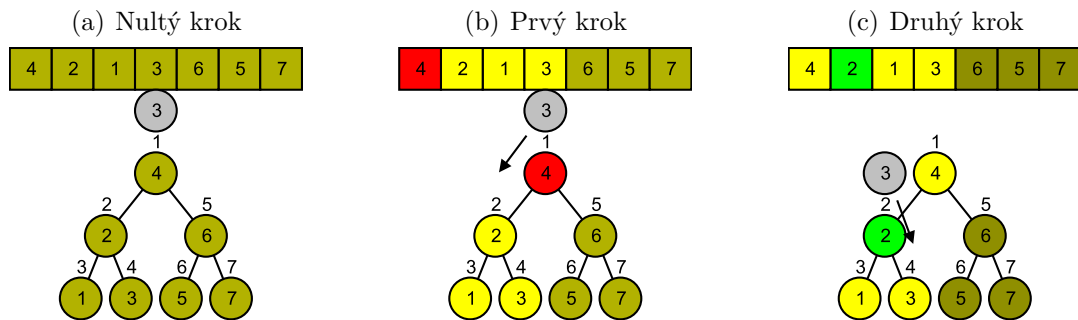
(a) Strom v *BFS* usporiadaní



(b) Strom vo *van Emde Boas* usporiadaní

Obrázok 1.4: Porovnanie štatistík simulovanej *cache* po prechode listov 1, 3, ..., 31 stromu výšky 5. Parametre *cache* sú v oboch prípadoch rovnaké ( $B = 4$ ,  $M = 2B = 8$ ), rozdiel je však v usporiadaní v pamäti.

Ako vizualizácia prítomnosti v *cache* slúži farba - vrcholy a položky poľa obsahujúce kľúče majú svetlejšiu farbu pozadia v prípade, že je daný blok v *cache* a tmavšiu ak je mimo. V strome je vďaka tomu ľahko vidieť, ktorá časť je načítaná a je možné ňou prechádzať bez ďalších presunov. V prípade *van Emde Boas* usporiadanie pôjde prevažne o časť podstromu aktuálne porovnávaného vrcholu, avšak pri klasickom uspo-



Obrázok 1.5: Simulácia *cache* počas vyhľadávania kľúča 3. Pred prvým prístupom je *cache* prázdna. V prvom kroku načítame koreň, ktorý je označený červenou farbou (*cache miss*), keďže nebol v *cache*. Spolu s ním sa v jednom bloku načítali ďalšie vrcholy, ktoré sú označené svetlejšou farbou. V druhom kroku je vrchol s kľúčom 2 označený zelenou farbou (*cache hit*), keďže už bol do *cache* načítaný v predchádzajúcom kroku.

riadaní to budú práve vrcholy mimo tohto podstromu, o ktorých už vieme, že nie sú pri vyhľadávaní potrebné.

Pri krokovanií vyhľadávania je pri prístupe k vrcholu tiež použitá zelená alebo červená farba na jeho dočasné zafarbenie (podobne ako v časti ??) podľa toho, či sa v danom momente v *cache* nachádzal (*cache hit*) alebo nie (*cache miss*). Ukážka tohto zafarbovania je na obrázku 1.5.

## 1.3 Usporiadané pole

Layout, intro

### 1.3.1 Vkladanie

## 1.4 Dynamický strom

Layout, intro

### 1.4.1 Vyhľadávanie

### 1.4.2 Vkladanie

## 1.5 Implementácia

?

# Literatúra

- [1] AGGARWAL, Alok ; VITTER, Jeffrey u. a.: The input/output complexity of sorting and related problems. In: *Communications of the ACM* 31 (1988), Nr. 9, S. 1116–1127
- [2] BAYER, Rudolf: Binary B-trees for Virtual Memory. In: *Proceedings of the 1971 ACM SIGFIDET (Now SIGMOD) Workshop on Data Description, Access and Control*. New York, NY, USA : ACM, 1971 (SIGFIDET '71), 219–235
- [3] BENDER, Michael A. ; DEMAINE, Erik D. ; FARACH-COLTON, Martin: Cache-Oblivious B-Trees. In: *Proceedings of the 41st Annual Symposium on Foundations of Computer Science (FOCS 2000)*. Redondo Beach, California, November 12–14 2000, S. 399–409
- [4] BENDER, Michael A. ; DEMAINE, Erik D. ; FARACH-COLTON, Martin: Cache-Oblivious B-Trees. In: *SIAM Journal on Computing* 35 (2005), Nr. 2, S. 341–358
- [5] BENDER, Michael A. ; DUAN, Ziyang ; IACONO, John ; WU, Jing: A locality-preserving cache-oblivious dynamic dictionary. In: *Proceedings of the thirteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms* Society for Industrial and Applied Mathematics, 2002, S. 29–38
- [6] DEMAINE, Erik D.: Cache-Oblivious Algorithms and Data Structures. In: *Lecture Notes from the EEF Summer School on Massive Data Sets*. BRICS, University of Aarhus, Denmark, June 27–July 1 2002
- [7] DREPPER, Ulrich: What every programmer should know about memory. In: *Red Hat, Inc* 11 (2007)
- [8] FRIGO, Matteo ; LEISERSON, Charles E. ; PROKOP, Harald ; RAMACHANDRAN, Sridhar: Cache-oblivious algorithms. In: *Foundations of Computer Science, 1999. 40th Annual Symposium on* IEEE, 1999, S. 285–297
- [9] INTEL CORPORATION: *Intel® 64 and IA-32 Architectures Optimization Reference Manual*. 2014 ( 248966-029)

- [10] KASHEFF, Zardosht: *Cache-oblivious dynamic search trees*, Massachusetts Institute of Technology, Diss., 2004
- [11] KOTRLOVÁ, Katarína: *Vizualizácia háld a intervalových stromov*, Univerzita Komenského v Bratislave, bakalárska práca, 2012
- [12] KOVÁČ, Jakub: *Vyhľadávacie stromy a ich vizualizácia*, Univerzita Komenského v Bratislave, bakalárska práca, 2007
- [13] LUKČA, Pavol: *Perzistentné dátové štruktúry a ich vizualizácia*, Univerzita Komenského v Bratislave, bakalárska práca, 2013
- [14] PROKOP, Harald: *Cache-oblivious algorithms*, Massachusetts Institute of Technology, Diss., 1999
- [15] TOMKOVIČ, Viktor: *Vizualizácia stromových dátových štruktúr*, Univerzita Komenského v Bratislave, bakalárska práca, 2012