

Assignment 6

Advanced Algorithms & Data Structures PS

Christian Müller 1123410
Daniel Kocher, 0926293

June 29, 2016

Aufgabe 11

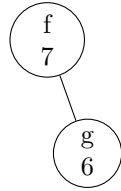
- i.) Fügen Sie die Schlüssel f, g, h, e, b, a, c in einen (anfangs leeren) Treap ein. Die Prioritäten dieser Schlüssel sind wie folgt gegeben: $a : 8, b : 15, c : 2, e : 3, f : 7, g : 6, h : 25, i : 22, j : 19, k : 13$.
- ii.) Entfernen Sie e aus dem Treap.
- iii.) Fügen Sie die Schlüssel i, j, k in einen anderen (anfangs leeren) Treap ein. Vereinigen Sie anschließend die zwei Treaps.
- iv.) Führen Sie *Spalte* (T, d, T_1, T_2) durch, wobei T der Treap aus dem vorigen Punkt ist.

Geben Sie den Treap vor und nach jeder Rotation an.

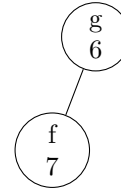
Für den Pseudocode bzw. die grundlegenden Vorgehensweise der Operationen Suchen, Einfügen, Rotieren, NachLinks/Rechts, Entfernen, Vereinigen und Spalte, sei auf die Folien vom 14.04.2016 verwiesen.

i.) Fügen Sie die Schlüssel f, g, h, e, b, a, c in einen (anfangs leeren) Treap ein. Die Prioritäten dieser Schlüssel sind wie folgt gegeben: $a : 8, b : 15, c : 2, e : 3, f : 7, g : 6, h : 25, i : 22, j : 19, k : 13$.

Insert g_6 :

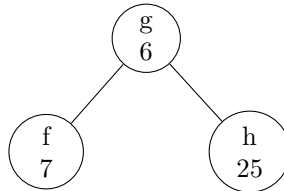


(a) Vorher



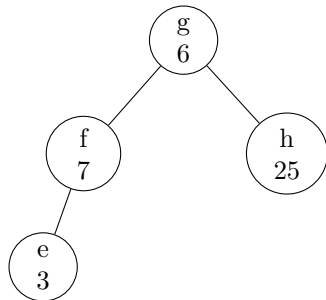
(b) Nach RotiereNachLinks(f_7)

Insert h_{25} :

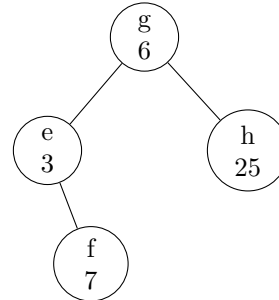


(a) Keine Rotation notwendig

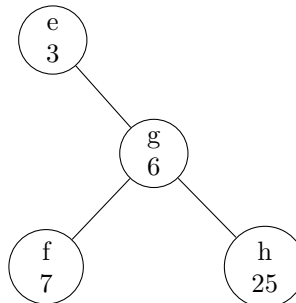
Insert e_3 :



(a) Vorher

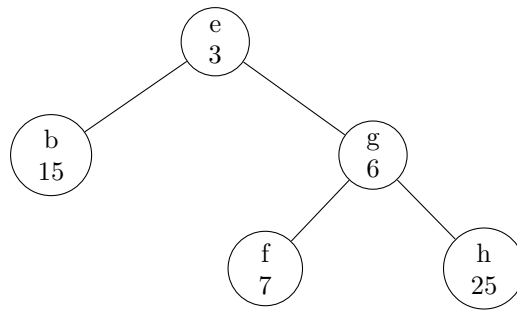


(b) Nach RotiereNachRechts(f_7)



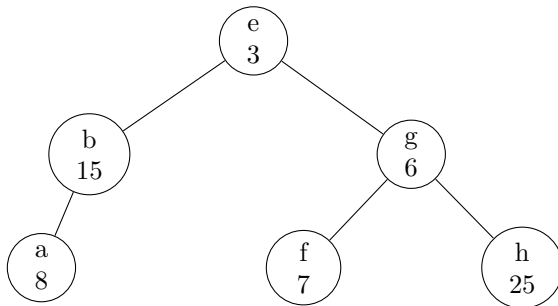
(c) Nach RotiereNachRechts(g_6)

Insert b_{15} :

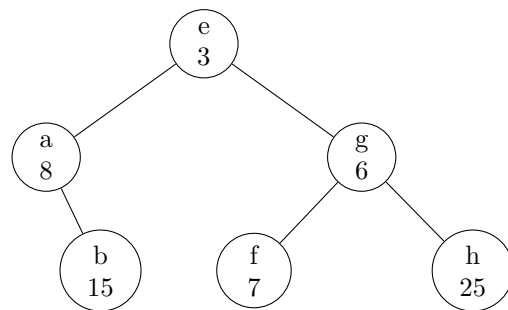


(a) Keine Rotation notwendig

Insert a_8 :

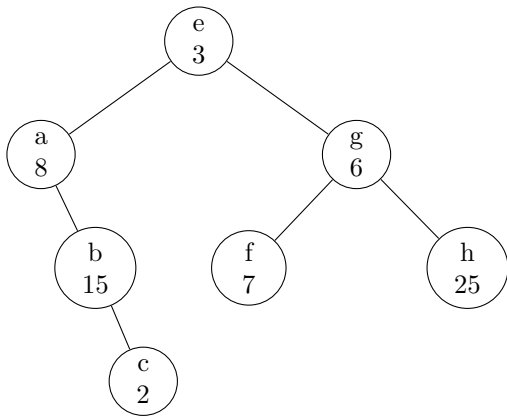


(a) Vorher

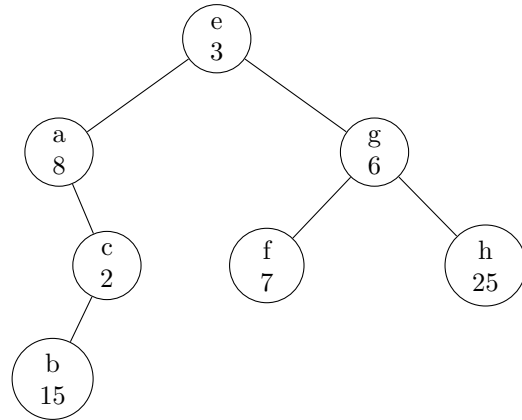


(b) Nach RotiereNachRechts(b_{15})

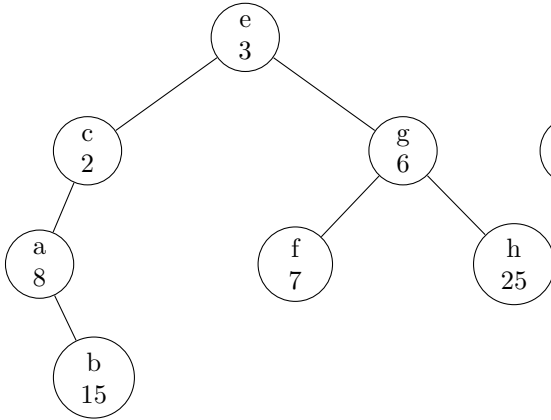
Insert c_2 :



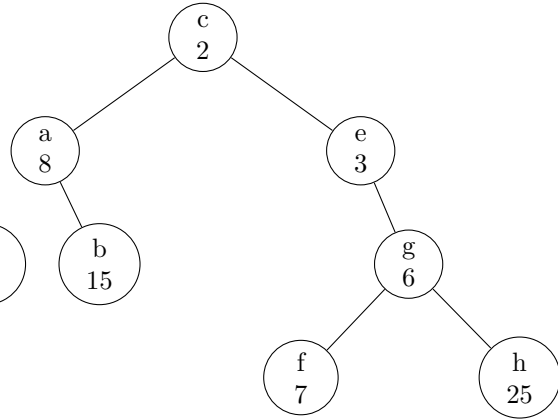
(a) Vorher



(b) Nach RotiereNachLinks(b_{15})

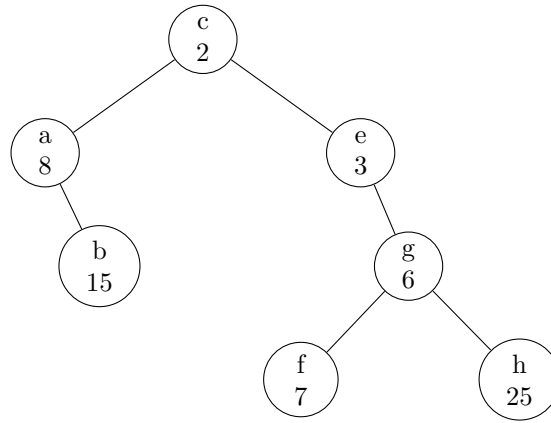


(c) Nach RotiereNachLinks(a_8)

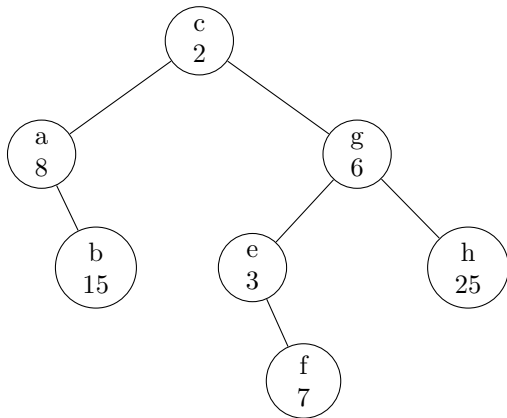


(d) Nach RotiereNachRechts(e_3)

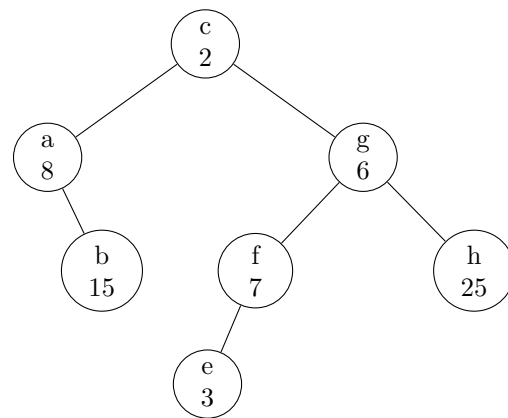
ii.) Entfernen Sie e aus dem Treap.



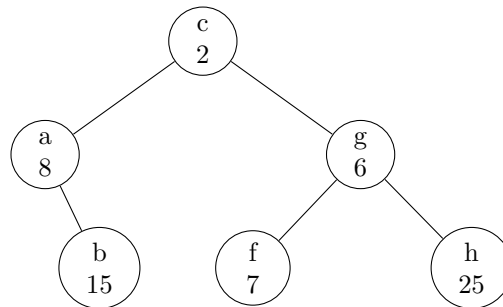
(a) Start



(a) Nach: g_6 ist rechtes Kind von $e_3 \implies \text{RotiereNachLinks}(e_3)$



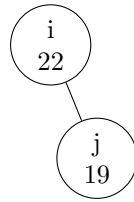
(b) Nach: f_7 ist rechtes Kind von $e_3 \implies \text{RotiereNachLinks}(e_3)$



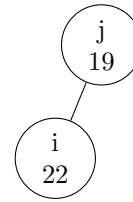
(a) Ende

iii.) Fügen Sie die Schlüssel i_{22} , j_{19} , k_{13} in einen anderen (anfangs leeren) Treap ein. Vereinigen Sie anschließend die zwei Treaps.

Insert j_{19} :

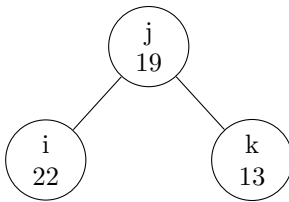


(a) Vorher

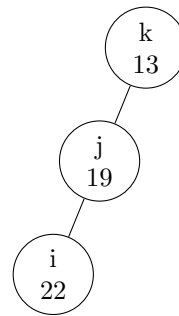


(b) Nach RotiereNachLinks(i_{22})

Insert k_{13} :

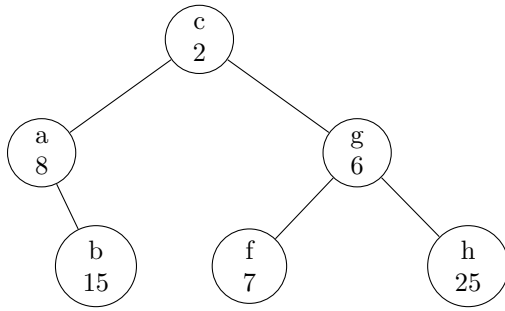


(a) Vorher

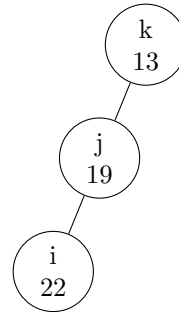


(b) Nach RotiereNachLinks(j_{19})

Vereinige(T_1, T_2):

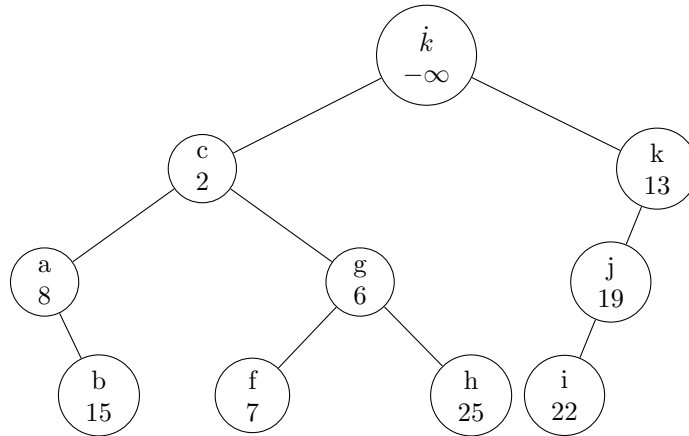


(a) T_1



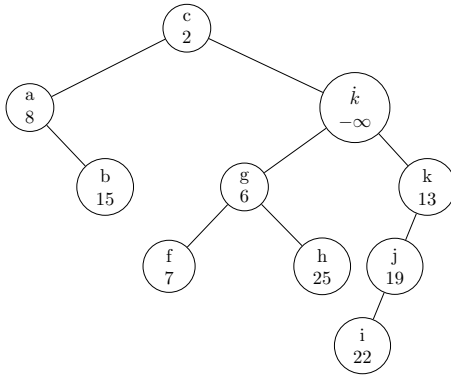
(b) T_2

Sei \dot{k} ein Schlüssel mit $\text{key}(x_1) < \dot{k} < \text{key}(x_2)$ für alle $x_1 \in T_1$ und $x_2 \in T_2$. Ein echter Buchstabe kann hier nicht verwendet werden, da ein solcher im deutschen Alphabet (natürliche Ordnung) nicht existiert. Es gilt also: $a < b < c < \dots < \dot{k} < i < j < k < \dots < z$.

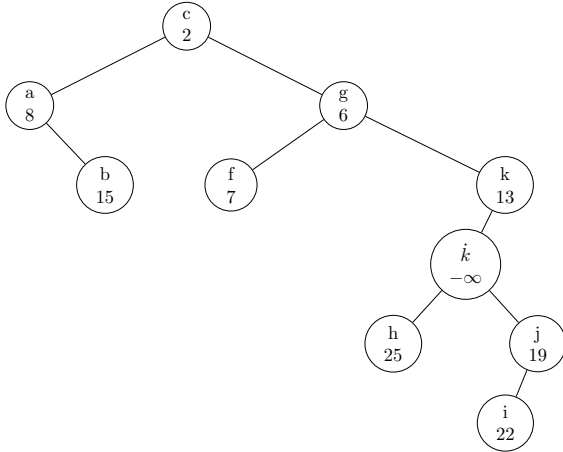


(a) Neuer Knoten mit Schlüssel \dot{k} als Wurzel.

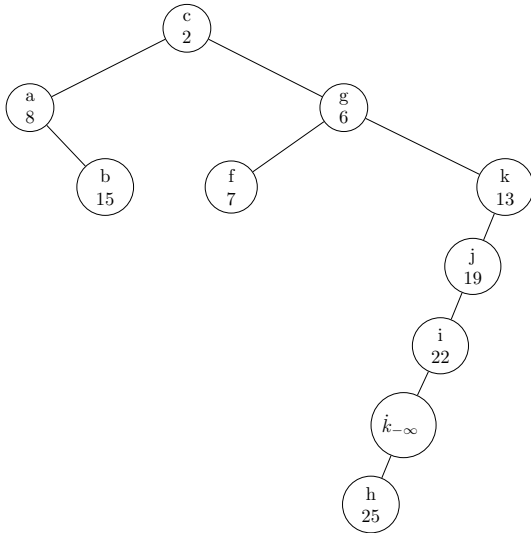
Entferne Wurzel aus Treap:



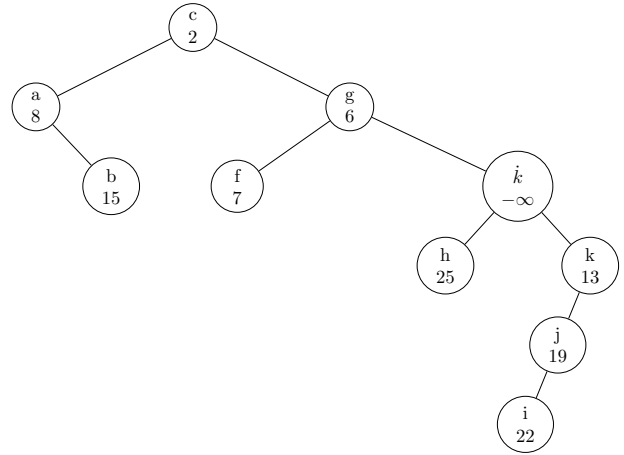
(a) Nach c_2 ist linkes Kind von $\hat{k}_{-\infty} \Rightarrow \text{RotiereNachRechts}(\hat{k}_{-\infty})$



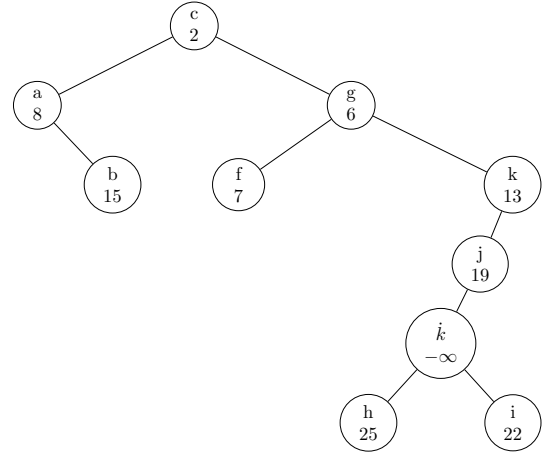
(b) Nach k_{13} ist rechtes Kind von $\hat{k}_{-\infty} \Rightarrow \text{RotiereNachLinks}(\hat{k}_{-\infty})$



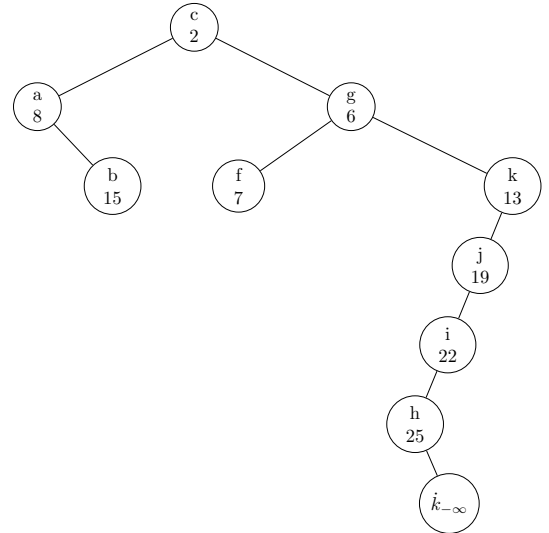
(c) Nach i_{22} ist rechtes Kind von $\hat{k}_{-\infty} \Rightarrow \text{RotiereNachLinks}(\hat{k}_{-\infty})$



(d) Nach g_6 ist linkes Kind von $\hat{k}_{-\infty} \Rightarrow \text{RotiereNachRechts}(\hat{k}_{-\infty})$



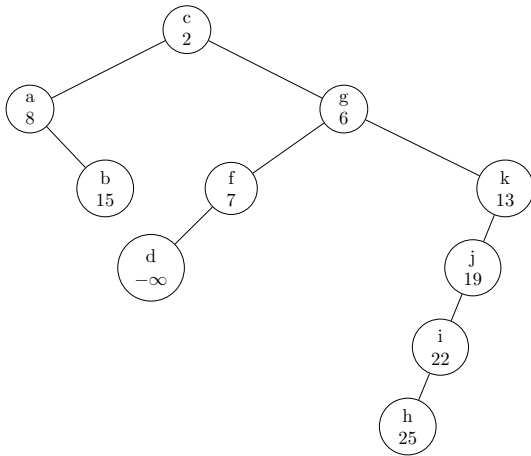
(e) Nach j_{19} ist rechtes Kind von $\hat{k}_{-\infty} \Rightarrow \text{RotiereNachLinks}(\hat{k}_{-\infty})$



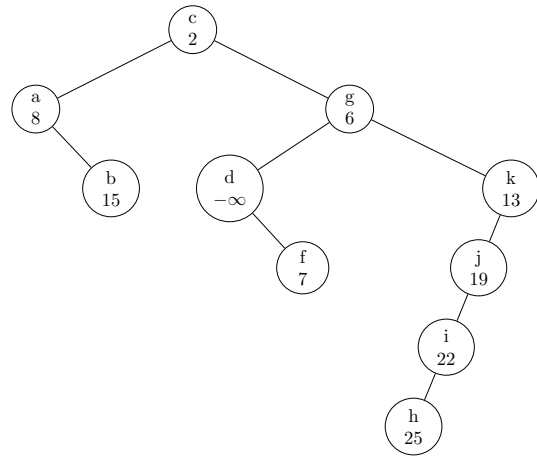
(f) Nach h_{25} ist linkes Kind von $\hat{k}_{-\infty} \Rightarrow \text{RotiereNachRechts}(\hat{k}_{-\infty})$
Der Hilfsknoten $\hat{k}_{-\infty}$ ist jetzt ein Blatt und kann einfach entfernt werden.

iv.) Führen Sie *Spalte* (T, d, T_1, T_2) durch, wobei T der Treap aus dem vorigen Punkt ist.

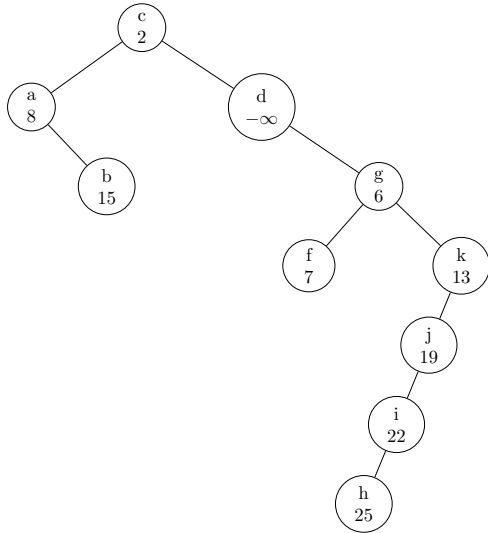
Füge Knoten $d_{-\infty}$ in T ein:



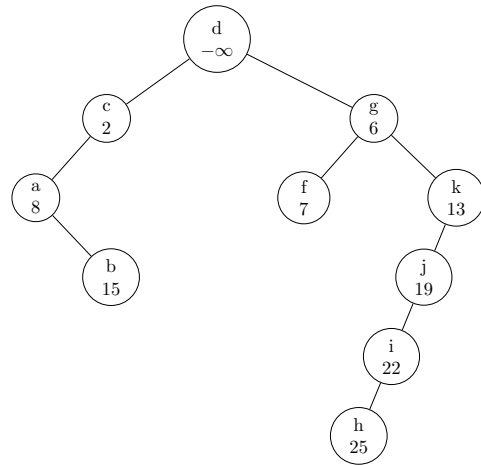
(a) Vorher



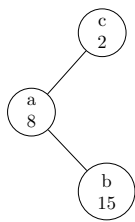
(b) Nach $d_{-\infty}$ ist linkes Kind von $f_7 \implies \text{RotiereNachRechts}(f_7)$



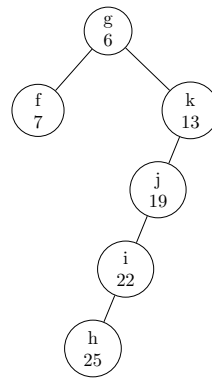
(c) Nach $d_{-\infty}$ ist linkes Kind von $g_6 \implies \text{RotiereNachRechts}(g_6)$



(d) Nach $d_{-\infty}$ ist rechtes Kind von $c_2 \implies \text{RotiereNachLinks}(c_2)$



(e) T_1



(f) T_2

Aufgabe 12

Der *linke Rand* in einem binären Suchbaum T ist der Pfad von der Wurzel zum Knoten mit dem kleinsten Schlüssel. Der *rechte Rand* in einem binären Suchbaum T ist der Pfad von der Wurzel zum Knoten mit dem größten Schlüssel. Betrachten Sie einen Treap T direkt nach dem Einfügen eines Objektes x . Sei C die Länge des rechten Randes des linken Unterbaums des Knotens mit dem Element x und sei D die Länge des linken Randes des rechten Unterbaums des Knotens mit dem Element x . Zeigen Sie, dass die Anzahl der Rotationen, die während des Einfügens von x durchgeführt wurden, $C + D$ ist.

Linker Rand eines binären Suchbaums: von der Wurzel zum linkesten Kind, d.h. verfolge ausgehend von der Wurzel immer die Kante zum linken Kind.

Rechter Rand eines binären Suchbaums: analog (verfolge immer die Kante zum rechten Kind).

C ... Länge des rechten Randes des linken Unterbaums des Knotens mit dem Element x .

D ... Länge des linken Randes des rechten Unterbaums des Knotens mit dem Element x .

R ... # der Rotationen, die während des Einfügens von x durchgeführt wurden.

Zu zeigen: $C + D = R$

Proof. Ausgehend von der Annahme, dass $C + D = R$ vor der ersten Rotation gilt, zeigen wir nun, dass $C + D = R$ auch nach der darauffolgenden Rotation gilt.

$C + D = R$ gilt für N Rotation (auch für $C = D = 0$ trivialerweise).

Seien C , D , C_{NR} und D_{NR} wie folgt:

C ... Länge des rechten Randes des linken Unterbaums des Knotens mit dem Element x *vor der Rotation*.

D ... Länge des linken Randes des rechten Unterbaums des Knotens mit dem Element x *vor der Rotation*.

C_{NR} ... Länge des rechten Randes des linken Unterbaums des Knotens mit dem Element x *nach der Rotation*.

D_{NR} ... Länge des linken Randes des rechten Unterbaums des Knotens mit dem Element x *nach der Rotation*.

Es gibt nun zwei Fälle zu unterscheiden.

Fall 1: Linksrotation bzgl. Knoten x

Vor der Rotation hat der linke Rand des rechten Unterbaums von x die Länge D . Analog hat der rechte Rand des linken Unterbaums von x die Länge C .

Bei einer Linksrotation passiert Folgendes. Sei y der Elternknoten von x vor der Linksrotation.

- x wird auf die Position von y geschoben und y wird linkes Kind von x .
- Der linke Unterbaum von x wird zum rechten Unterbaum von y .
- Der rechte Unterbaum von x bleibt dessen rechter Unterbaum.
- Der linke Unterbaum von y bleibt dessen linker Unterbaum.

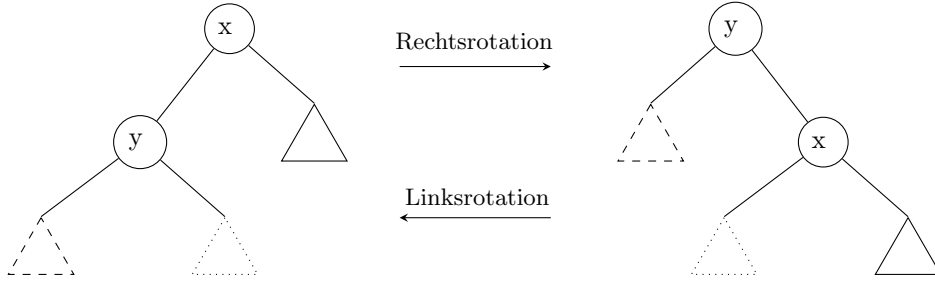


Figure 16: Links- und Rechtsrotation bzgl. x

Durch die "Nach-Unten-Verschiebung" des linken Unterbaums von x um eine Ebene, wird der rechte Rand des linken Unterbaums des Knotens mit dem Element x ebenfalls um 1 länger, d.h. $C_{NR} = C + 1$. Die Länge des linken Randes des rechten Unterbaums des Knotens mit dem Element x bleibt hingegen unverändert, d.h. $D_{NR} = D$.

Für diesen Fall gilt also für N Rotationen, dass C N -mal um 1 länger wird, d.h. $C_{NR} = C + \sum_{i=1}^N 1 = C + N = N$. D_{NR} bleibt hingegen immer gleich bleibt, d.h. $D_{NR} = D = 0$.

Daraus folgt: $C_{NR} + D_{NR} = N = N$ für N Rotationen. \square

Fall 2: Rechtsrotation bzgl. Knoten x

Die selbe Argumentation kann für die Rechtsrotation verwendet werden. Der einzige Unterschied liegt in der Veränderung des Baumes. Bei einer Rechtsrotation gilt Folgendes. Sei y das linke Kind von x vor der Rechtsrotation.

- y wird der neue Elternknoten von x .
- Der linke Unterbaum von y bleibt dessen linker Unterbaum.
- Der rechte Unterbaum von y wird linker Unterbaum von x .
- x wird das rechte Kind von y .

In diesem Fall wird der Pfad D um 1 länger und C bleibt unverändert, d.h. $D_{NR} = D + 1$ und $C_{NR} = C$.

Analog zu Fall 1 ergibt sich daraus für N Rotationen: $C_{NR} + D_{NR} = N = N$. \square

Das heißt, dass $C + D = R$ auch für die Kombination von Links- und Rechtsrotationen gilt, da nur entweder D oder C um 1 länger werden. \square

Aufgabe 13

Sei $U = \{0, \dots, N-1\}$, wobei N eine Primzahl ist und sei $m = 4$. Seien $a_i = 40i$ und $b_i = 60i$. Wir definieren folgende Klasse von Hashfunktionen:

$$H = \left\{ h_i(k) = ((a_i k + b_i) \bmod N - 1) \bmod m \right\} \text{ für } i \in \{1, \dots, N(N-1)\} \quad (1)$$

Ist H universell? Warum? Falls H nicht universell ist, so modifizieren Sie h_i , a_i und b_i , sodass Sie eine universelle Klasse erhalten.

H ist nicht universell.

Proof. Da N prim ist, wissen wir, dass (1) $(N - 1)$ keine Primzahl ist (außer $N = 3$) und (2) $(N - 1)$ eine gerade Zahl ist (da alle Primzahlen außer 2 ungerade sind).

Weiters wissen wir, dass $a_i = 40i$ und $b_i = 60i$ beides gerade Zahlen sind, da eine Multiplikation mit einer geraden Zahl immer eine gerade Zahl ergibt.

Dies hat zur Folge, dass $H = \{h_i(k) = (40ik + 60i) \bmod N - 1 \bmod 4\}$ immer eine gerade Zahl ergibt (gerade Zahl mod gerader Zahl ergibt immer gerade Zahl). Dadurch wird nur der halbe Bereich von m ausgenutzt (nämlich nur jede zweite - gerade - Zahl), d.h. nur $\frac{m}{2}$.

Damit H universell ist, muss nun Folgendes für (x, y) mit $x \neq y$ erfüllt sein:

$$\frac{|\{h \in H : h(x) = h(y)\}|}{|H|} \leq \frac{1}{m} \iff |\{h \in H : h(x) = h(y)\}| \leq \frac{|H|}{m} \quad (2)$$

Da $i \in \{1, \dots, N(N-1)\}$, ist $|H| = N(N-1)$. Weiters ist $m = 4$. Da nur jede zweite - gerade - Zahl aus dem Wertebereich von m genutzt wird, ist $|\{h \in H : h(x) = h(y)\}| = \frac{|H|}{2} = \frac{N(N-1)}{2}$. Eingesetzt in (2) ergibt sich dadurch

$$\frac{N(N-1)}{2} \leq \frac{N(N-1)}{4} \iff \frac{1}{2} \leq \frac{1}{4} \quad (3)$$

(3) ist nicht erfüllt $\Rightarrow H$ ist nicht universell. □

Damit H universell ist, halten wir uns nun an den Satz von Folie 20:

$$H = \{h_{a,b}(x) \mid 1 \leq a < N \wedge 0 \leq b < N\} \quad (4)$$

ist eine universelle Klasse von Hash-Funktionen.

Das heißt, wir müssen a_i , b_i und h_i so anpassen, dass Folgendes gilt:

$$a_i \in \{1, \dots, N-1\}, b_i \in \{0, \dots, N-1\}, h_i(x) = ((a_i k + b_i) \bmod N) \bmod m \quad (5)$$

Es wurde in der Vorlesung bewiesen, dass diese Klasse von Hash-Funktionen universell ist.

$$a_i = f(i, N), f(i, N) \in \{1, \dots, N-1\} \text{ für } i \in \{1, \dots, N(N-1)\} \quad (6)$$

$$b_i = g(i, N), g(i, N) \in \{0, \dots, N-1\} \text{ für } i \in \{1, \dots, N(N-1)\} \quad (7)$$

Die folgenden Funktionen $f(i, N)$ und $g(i, N)$ erfüllen diese Bedingungen:

$$a_i = 1 + ((i-1) \bmod N-1) \quad (8)$$

$$b_i = \left\lceil \frac{i-1}{N} \right\rceil \quad (9)$$

Daraus ergibt sich

$$H = \left\{ h_i(x) = ((a_i k + b_i) \bmod N) \bmod m \right\} \quad (10)$$

was eine universelle Klasse von Hash-Funktionen ist.