

## 1 Invariante

- Vorm ersten Durchlauf erfüllt sein (Initialisierung, Induktionsanfang)
- Muss bei jedem Schleifendurchlauf erhalten bleiben (Erhaltung, Induktionsschritt)
- Invar nach Beendigung der Schleife zeigt Korrektheit (Terminierung)

### 1.1 Rekursionsgleichungen

- ineinander einsetzen
- Summe erkennen und zusammengefasst aufschreiben

### 1.2 Mastertheorem

#### 1.2.1 Additives Mastertheorem

- $a, b, c$  positiv  $n = b^k$
- $$T(n) \leq \begin{cases} c & n = 1 \\ a \cdot T(\frac{n}{b}) + c & n > 1 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} T(n) &\leq c \cdot \frac{a}{a-1} n^{\log_b(a)} - \frac{c}{a-1} &= O(n^{\log_b(a)}) && \text{falls } a > 1 \\ T(n) &\leq c \cdot \frac{a}{a-1} n - \frac{c}{a-1} &= O(n) && \text{falls } a = b > 1 \\ T(n) &\leq c \cdot \log_b(n) + c &= O(\log(n)) && \text{falls } a = 1 \end{aligned}$$

#### 1.2.2 allgemeines Mastertheorem

- $a, b, d, q \geq 1$
- $$T(n) \leq \begin{cases} d & n \leq q \\ a \cdot T(\frac{n}{b}) + f(n) & n > q \end{cases}$$

$$\begin{aligned} f(n) &= O(n^{\log_b(a)-\epsilon}) \text{ mit } \epsilon > 0 & T(n) &= O(n^{\log_b(a)}) \\ f(n) &= \Theta(n^{\log_b(a)}) & T(n) &= O(n^{\log_b(a)} \log(n)) \\ f(n) &= \Omega(n^{\log_b(a)+\epsilon}) \text{ mit } \epsilon > 0, & T(n) &= \Theta(f(n)) \\ a \cdot f(\frac{n}{b}) &\leq \delta \cdot f(n), \delta < 1, n \rightarrow \infty \end{aligned}$$

## 2 O-Notation

### 2.1 Definition

- $f = O(g) \Leftrightarrow \exists c > 0 \exists n_0 \in \mathbb{N} \forall n \geq n_0 : f(n) \leq cg(n)$   
(f wächst asymptotisch höchstens so schnell wie g)
- $f = \Omega(g) \Leftrightarrow g = O(f)$   
(f wächst asymptotisch mindestens so schnell wie g)

- $f = \Theta(g) \Leftrightarrow f = O(g) \text{ und } g = O(f)$   
(f und g wachsen asymptotisch gleich schnell)
- $f = o(g) \Leftrightarrow \forall c > 0 \exists n_0 \in \mathbb{N} \forall n \geq n_0 : f(n) < cg(n)$   
 $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{f(n)}{g(n)} = 0$   
(f wächst asymptotisch langsamer als g)
- $f = \omega(g) \Leftrightarrow g = o(f)$   
(f wächst asymptotisch langsamer als g)

## 2.2 Eigenschaften

- $f = o(g) \Rightarrow f = O(g)$
- $f = o(g) \text{ und } h = o(g) \Rightarrow f + h = o(g)$  (auch  $O, \Omega, \omega, \Theta$ )
- $f = o(g) \text{ und } h = o(g) \Rightarrow f \cdot h = o(g^2)$  (auch  $O, \Omega, \omega, \Theta$ )

## 2.3 Reihenfolge

$$c < \log(n) < n^{\frac{1}{k}} < n < n \log(n) < n^2 < n^k < 2^n$$

# 3 Sortieralgorithmen

## 3.1 Bubblesort

- Jeden Durchlauf wird das grte Element auf die n-ite Stelle getauscht. Jeder Vergleich ggf ein Swap.
- inkrementelle, inplace, stabil
- $BC : \Theta(n)$   $AV : \Theta(n^2)$   $WC : \Theta(n^2)$

## 3.2 Insertionsort

- Key wird in sortiertes Array eingeordnet. Key wird gemerkt, falls kleiner wird das größere Element auf Pos von Key kopiert aber Key wird erst kopiert, wenn die richtige Stelle gefunden worden ist.
- inkrementelle, inplace, stabil
- $BC : \Theta(n)$   $AV : \Theta(n^2)$   $WC : \Theta(n^2)$

### 3.3 Mergesort

- Teile Array bis auf ein Element Array und sortiere beim rekursiven zusammenfügen. Geteilt wird p bis q, q+1 bis r.  
Merge vergleicht erste Pos von den Arrays und fgt immer das kleinere ins Zielarray ein.
- D&C,
- $BC : \Theta(n \log(n))$   $AV : \Theta(n \log(n))$   $WC : \Theta(n \log(n))$

### 3.4 Quicksort(A,p,r)

- Teile Array nach Pivotelement und fge Pivot dann an Grenze ein. Dann partition bis q-1 und
- D&C,
- $BC : \Theta(n \log(n))$   $AV : \Theta(n \log(n))$   $WC : \Theta(n^2)$

## 4 Heap

### 4.1 Definition

- $Heap := A[i] \geq A[2i] \text{ und } A[i] \geq A[2i+1]$
- jeder Knoten hat mindestens so groen Wert wie seine Kinder
- Wird als binärer Baum dargestellt.

### 4.2 Eigenschaften

- Baumtiefe  $\lfloor \log(n) \rfloor$
- $A[\lfloor \frac{n}{2} \rfloor + 1]$  bis  $A[n]$  sind Kinder
- Maximum ist die Wurzel  $A[1]$

### 4.3 Heapify

- Tausche mit grtem Kind
- wird auf getauschten Knoten erneut aufgerufen bis er richtig steht

#### 4.4 Build-Heap

- Bei uns meist MaxHeap
- Heapify auf  $A[\lfloor \frac{n}{2} \rfloor]$  *downto*  $A[1]$
- $BC : \Theta(n)$   $AV : \Theta(n)$   $WC : \Theta(n)$
- #Vertauschungen  $\leq \sum_{i=1}^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor} (\log(n) - \log(i))$
- #Vergleiche  $\leq$  #Vertauschungen

#### 4.5 Heap-Sort

- Build-Heap
- Sort-Heap  
  Vertausche  $A[1]$  und  $A[i]$   
  Danach Heapify( $A[i \dots i-1]$ )
- $BC : \Theta(n \log(n))$   $AV : \Theta(n \log(n))$   $WC : \Theta(n \log(n))$

#### 4.6 Bucket-Sort

- Hnge  $a_j$  an Liste  $L[a_j]$  an. Gebe alle Listen aus
- stabil
- Zahlen aus  $\{1, \dots, m\}$  und  $O(n+m)$  und braucht  $O(n+m)$  Platz

### 5 Dynamische Arrays

- Falls Array  $A$  nicht mehr ausreicht ( $n \geq w$ ). Verdoppel Array
- Falls  $\frac{1}{4}n > 0$  Halbiere Array

### 6 Stack

- Empty(S), Pop(S), Push(S), Top(S)(Pos)

### 7 Queue

- Enqueue, Dequeue, Head(Q), Tail(Q)(erste freie Pos)
- falls Array vonn starte bei 1, falls frei

## 8 Doppelt verkettete Listen

- Head(L), Insert(L,x)(hngt vorne dran), Remove(L,x)
- key(x), next(x), prev(x)
- falls next(x) = nil, x letztes Element

## 9 Skiplisten

- verschiedene Niveaus
- perfekte hat  $\lceil \log(n) \rceil$  Niveaus (ermglicht binre Suche)
- left(v), right(v), down(v), up(v), Search(L,x), Insert(L,v) (mit RandomHight)
- Niveau 0, wo jeder Knoten ist ( $2^0$ )
- Niveau k behinaltet jeden  $2^k$ -ten Knoten

## 10 Binre Suchbume

### 10.1 Binre Suchbume

- lc[x], rc[x], p[x],root[x]
- Inorder-Tree-Walk(x) gebe Knoten sortiert, nach abgeben, aus.  
Gehe am Ende von ganz rechts zur Wurzel zurck.  $\Theta(n)$
- Baumsuche(x,k) meist mit  $x = \text{root}[T]$
- Min/Max linkestes/rechtestes Element
- Nachfolger(x) linkestes Element im rechten Teilbaum. Wenn nicht verfgbar im Baum aufsteigen
- Delete(x), x hat 2 Kinder, Nachfolger von x wird verschoben, ggf wiederholen

### 10.2 Balancierte Suchbume

- Hhe hchstens  $2\log(n+1) - 2$
- Rotation ndern nur Hhe
- Rechtsrota(T,x),Linksrota(T,x)
- Balance(t):  
Falls lc[t] und rc[lc[t]] grer dann Linksrota(lc[t]), sonst Rechtsrota(t)  
Falls rc[t] und lc[rc[t]] grer dann Rechtsrota(rc[t]), sonst Linksrota(t)

## 11 Hashing

### 11.1 Geschlossene Adressierung

- Kollisionsauflösung durch Listen
- Suchen/Lschen AV:  $\Theta(1 + \alpha)$ , Falls  $m = \Theta(n) \cdot \Theta(1)$

### 11.2 Offene Adressierung

- (nächste) freie Stelle in der Hashtabelle
- Lineares Hashing:  $h(k, i) = (h'(k) + i) \bmod m$
- Quadratisches Hashing:  $h(k, i) = (h'(k) + c_1 i + c_2 i^2) \bmod m$
- Delete problematisch, deshalb offene Adressierung bei Anwendungen ohne Delete nutzen
- falls zu viele deleted, dann neu hashen in größerer Tabelle (amortisierte Laufzeit)

### 11.3 Kuckuckshashing

- 2 Hashfunktionen mit einer Tabelle
- Insert: Falls belegt, neuen Wert einfügen und alten mit anderer Funktion neu hashen
- $\max d \log(n)$  Hashversuche

## 12 Graphentheorie

### 12.1 Adjazenzmatrix/liste

- Zeile: von, Spalte: nach
- Zeile: von, Einträge: erreichende Knoten (einfach verkettete Liste)

### 12.2 SSSP

#### 12.2.1 BFS

- berechnet Abstand von allen Knoten zu  $s$  in einem ungewichteten Graphen
- $d[u]$  ist der Abstand am Anfang  $\infty$
- $\pi[u]$  ist der Vorgänger am Anfang NIL
- $\text{Color}[u] = \text{wei, grau, schwarz}$  am Anfang wei
- Queue zum Speichern der grauen Knoten

- BFS entdeckt alle Knoten  $v \in V$ , die von  $s$  aus erreichbar sind
- entdeckt die Zusammenhangskomponenten
- $O(|V| + |E|)$

### 12.2.2 DFS

- Neue Knoten vom zuletzt gefundenen Knoten entdeckt. Falls alle  $\text{adj}[v]$  entdeckt gehe zu  $\pi[v]$
- Ist nicht SSSP, bildet Spannbaum
- $d[u]$  ist der Abstand am Anfang  $\infty$
- $\pi[u]$  ist der Vorgänger am Anfang NIL
- $\text{Color}[u] = \text{wei, grau, schwarz}$  am Anfang wei
- Stack zum Speichern der grauen Knoten
- Baumkante: rot, Rückkante: grün (auf grauen), SonstigeKante: blau (auf schwarzen)
- $G$  enthält einen Kreis  $\Leftrightarrow \text{DFS}(G)$  erzeugt mindestens eine Rückkante
- DAG  $\Leftrightarrow$  es existiert eine topologische Sortierung (alle Kanten einzeichnen)
- TopologischesSortieren( $G$ ) legt eine Liste an und fgt die schwarzen Knoten vorne an

## 12.3 Dijkstra

- kein negativer Kreis aber gewichtet
- setze alle Knoten auf  $\infty$  und update alle  $\text{adj}(u)$  mit dem Gewicht, falls geringer als aktueller Wert
- Laufzeit mit Heaps:  $O((|V| + |E|)\log(|V|))$

## 13 Dynamische Programmierung

- Berechne die Funktionswerte iterativ und bottom-up und nutze Teilergebnisse

### 13.1 Bellman-Ford

- ohne negative Zyklen = kürzester Pfad
- Laufzeit  $O(|V|^2 + |V||E|)$  und Speicherbedarf  $O(|V|^2)$

## 13.2

- 

## 14 Rechentricks

- Arithmetische Reihe  $\sum_{i=1}^n k = \frac{n(n+1)}{2}$
- logarithmus!!! bsp laufzeit aus probe 1
- Stirling'sche Formel  $n! \approx \left(\frac{n}{e}\right)^n \cdot \sqrt{2\pi n}$   
 $\Rightarrow \log(n!) \approx n\log(n) - n\log(e)$