

Algoritmer og Datastrukturer 1

Gerth Stølting Brodal

Amortiseret Analyse [CLRS, kapitel 17]

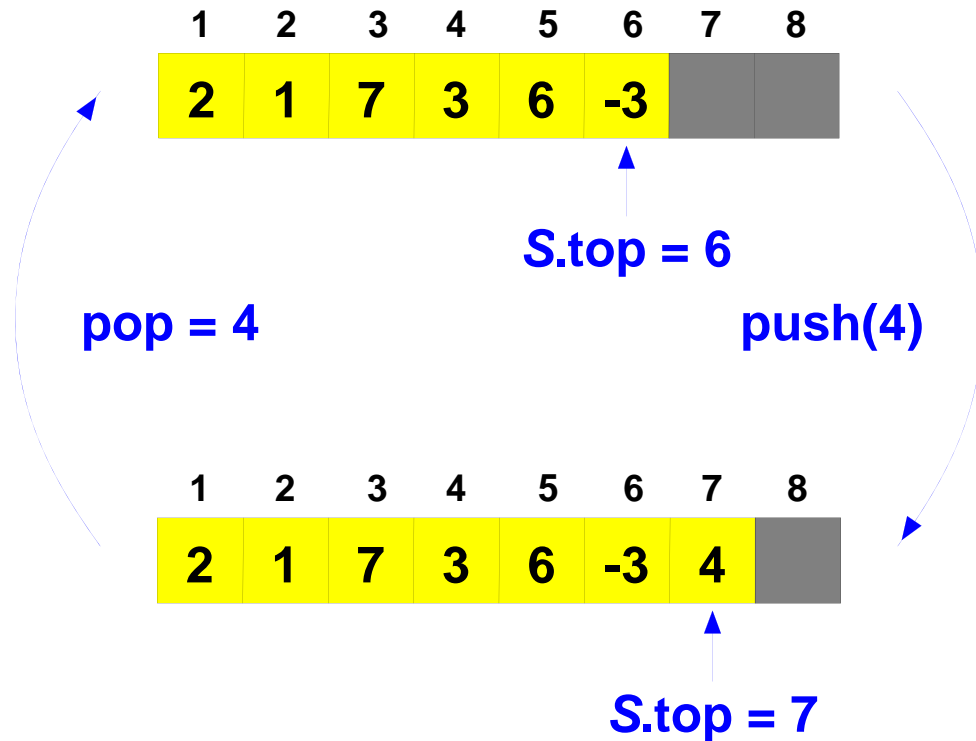


AARHUS UNIVERSITET



Stak

Stak : Array Implementation



STACK-EMPTY(S)

```
1  if  $S.top == 0$ 
2      return TRUE
3  else return FALSE
```

PUSH(S, x)

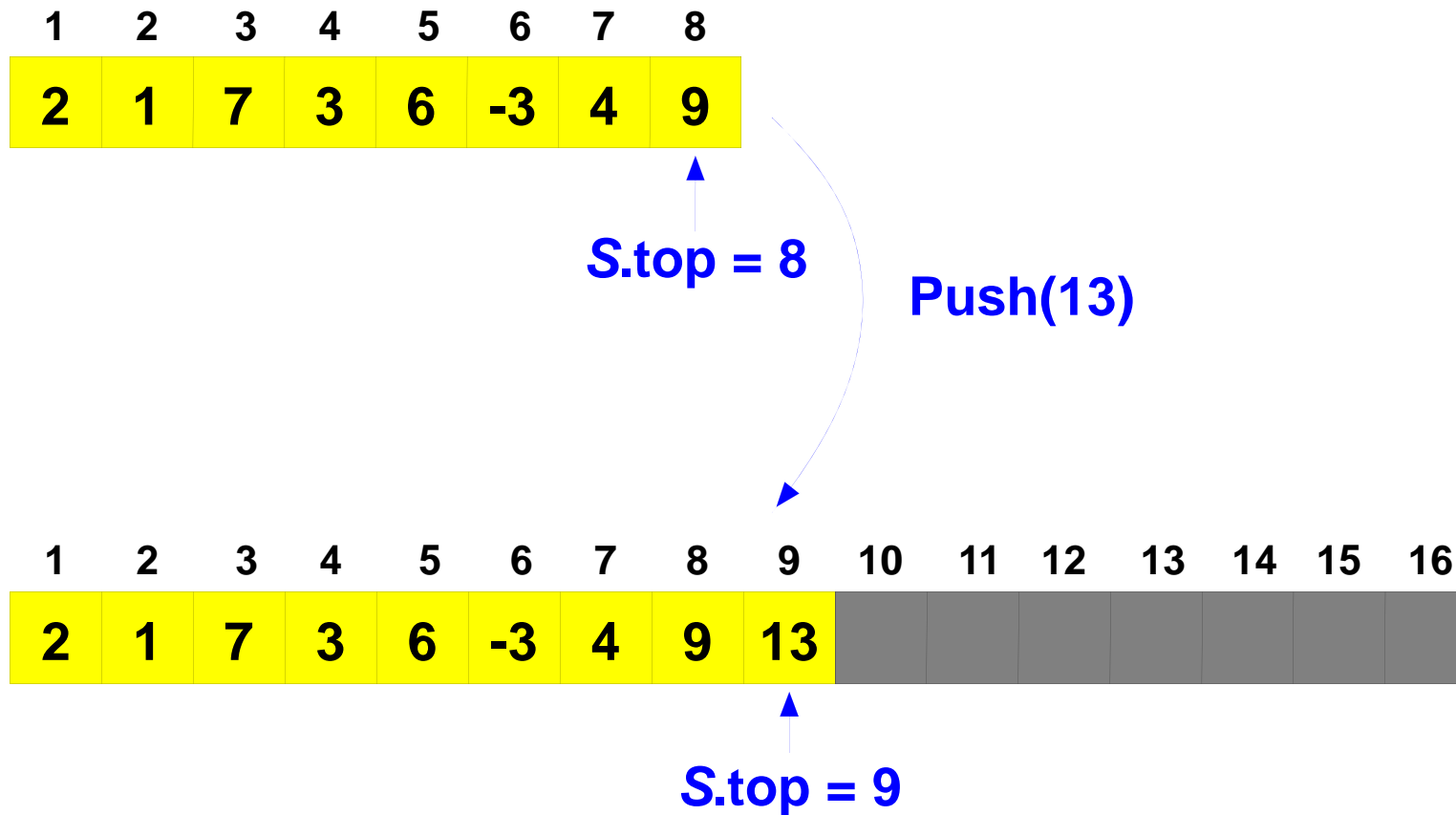
```
1   $S.top = S.top + 1$ 
2   $S[S.top] = x$ 
```

POP(S)

```
1  if STACK-EMPTY( $S$ )
2      error "underflow"
3  else  $S.top = S.top - 1$ 
4      return  $S[S.top + 1]$ 
```

Stack-Empty, Push, Pop : $O(1)$ tid

Stak : Overløb



Array fordobling : $O(n)$ tid

Array Fordobling

Fordoble arrayet når det er fuld

1

2

4

8

Tid for n udvidelser:

16 $1+2+4+\dots+n/2+n = O(n)$

32

Halver arrayet når det er $<1/4$ fyldt

32

16

16

8

Tid for n udvidelser/reduktioner:

8

16

$O(n)$

Array Fordobling + Halvering

– en generel teknik

Tid for n udvidelser/reduktioner er $O(n)$

Plads $\leq 4 \cdot$ aktuelle antal elementer

Array implementation af Stak:
 n push og pop operationer tager $O(n)$ tid

Analyse teknik ønskes...

Krav

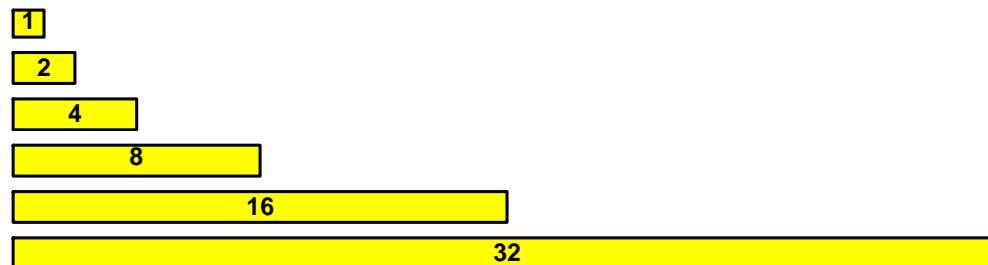
- Analysere **worst-case** tiden for en **sekvens** af operationer
- Behøver kun at analysere den **enkelte operation**

Fordel

- Behøver **ikke** overveje andre operationer i sekvens og deres **indbyrdes påvirkninger**
- Gælder for alle sekvenser med de givne operationer

Intuition

- Der findes ”**gode**”/”**balancerede**” tilstande og ”**dårlige**”/”**ubalancerede**”
- At komme fra en ”**dårlig**” tilstand til en ”**god**” tilstand er **dyrt**
- Det tager mange operationer fra en ”**god**” tilstand før man er i en ”**dårlig**”
- For de (mange) **billige** operationer ”betaler” vi lidt ekstra for senere at kunne lave en **dyr** operation næsten **gratis**

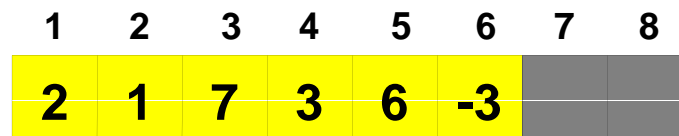


Amortiseret Analyse

- **1 €** kan betale for $O(1)$ **arbejde**
- En operation der tager tid $O(t)$ koster t €
- Hvornår vi betaler/sparer op er ligegyldigt – bare pengene er der når vi skal bruge dem!
- **Opsparing = Potentiale = Φ**
- Vi kan ikke låne penge, dvs. vi skal spare op før vi bruger pengene, $\Phi \geq 0$
- **Amortiseret tid** for en operation = hvad vi er **villige** til at betale – men vi skal have råd til operationen!
- Brug **invarianter** til at beskrive sammenhængen mellem **opsparingen** og **datastrukturen**

Eksempel: Stak

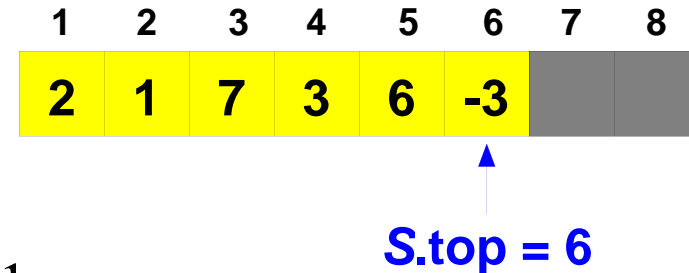
- En **god** stak er halv fuld – kræver ingen opsparing
- Invariant : $\Phi = 2 \cdot |S.top - |S|/2|$
- Antag: 1 € per element indsættelse/kopiering
- Amortiseret tid per push: 3 € ?
(har vi altid penge til at udføre operationen?)
- Hvis ja: n push operationer koster $\leq 3n$ €



S.top = 6

Eksempel: Stak

Push = Amortiseret 3€



- Push uden kopiering:
 - Et nyt element : **1 €**
 - $\|S\|/2 - \text{top}[S]$ vokser med højst 1, så invarianten holder hvis vi sparer **2 €** op
 - Amortiseret tid: $1+2=3$
- Push med kopiering
 - Kopier S : **$|S|$ €**
 - Indsæt nye element: **1 €**
 - Φ før = $|S|$, Φ efter = 2, dvs **$|S|-2$ € frigives**
 - Amortiseret tid $|S|+1-(|S|-2)=3$

Invariant: $\Phi = 2 \cdot |S.\text{top} - |S|/2|$

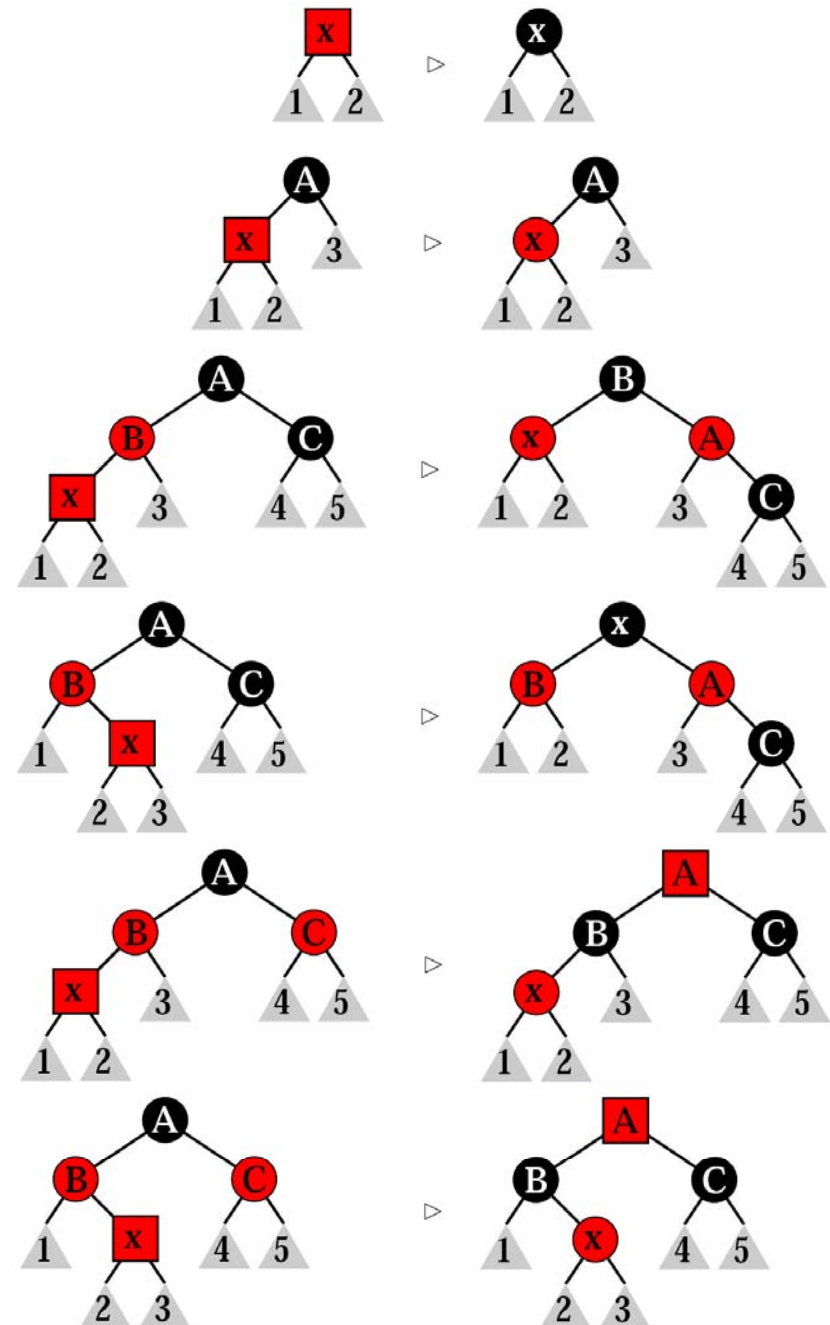
Eksempel: Rød-Sorte Træer

Insert(x)
 =
 Søgning $\leftarrow O(\log n)$
 +
 Opret nyt blad $\leftarrow O(1)$
 +
 Rebalancering $\leftarrow \# \text{ transitioner}$

transitioner = amortiseret $O(1)$

$\Phi = \# \text{ røde knuder}$

Korollar: Indsættelse i rød-sorter træer tager amortiseret $O(1)$ tid, hvis indsættelsespositionen er kendt



Amortiseret Analyse

- Teknik til at argumentere om **worst-case** tiden for en sekvens af operationer
- Behøver kun at analysere operationerne enkeltvis
- **Kunsten**: Find den rigtige invariant for 