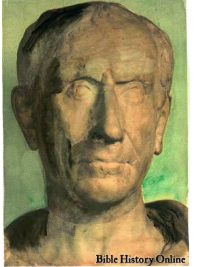


Zevende college algoritmiek

24 maart 2016

Verdeel en Heers

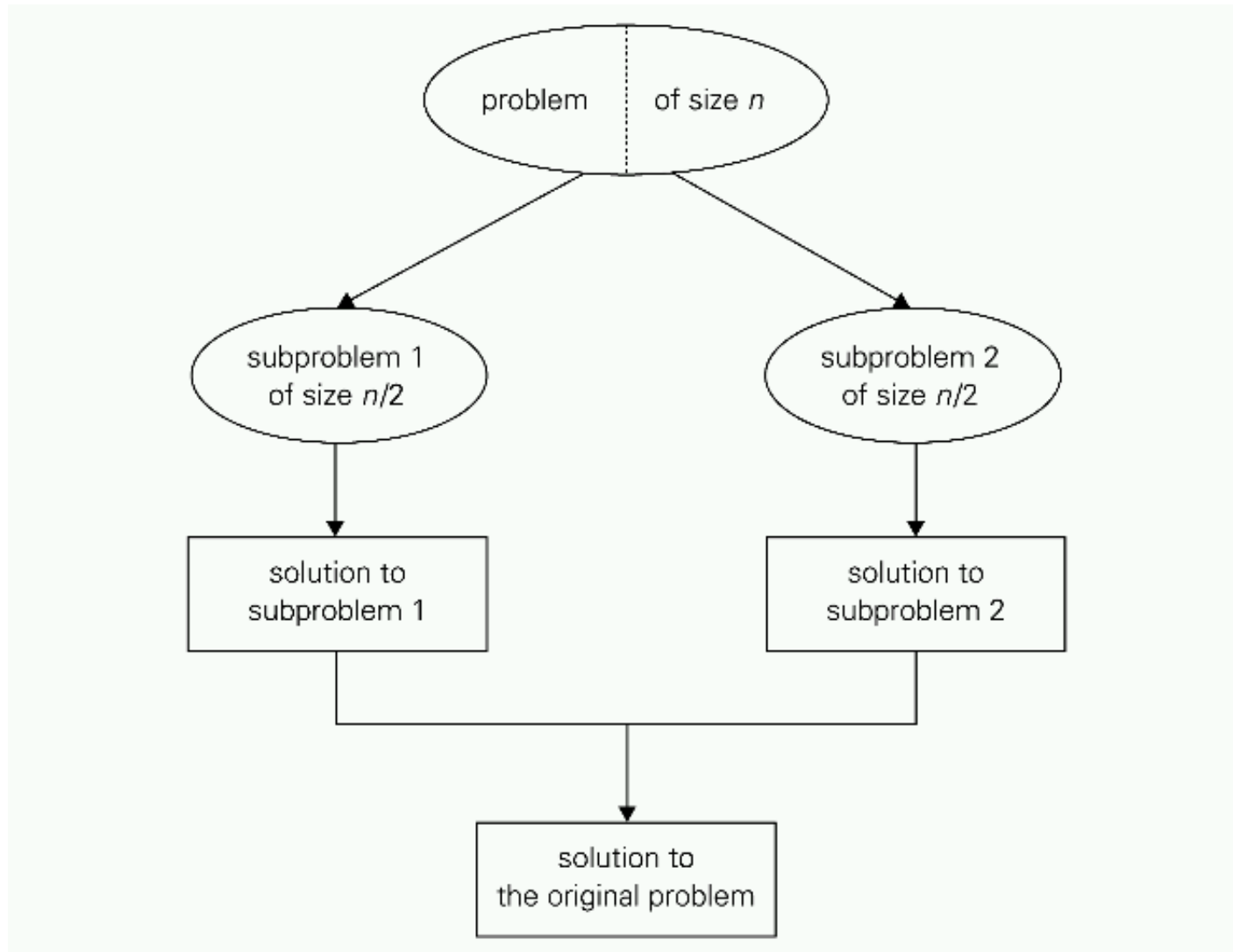


Divide and Conquer

1. Verdeel een instantie van het probleem in twee (of meer) kleinere instanties
2. Los de kleinere instanties op: meestal **recursief**
3. Combineer deze twee (of meer) oplossingen tot een oplossing van de oorspronkelijke (grotere) instantie

Opmerking: meestal wordt een probleeminstantie in twee ongeveer gelijke delen verdeeld.

Verdeel en heers
(vaak: verdeel in
twee gelijke delen)



Decrease and Conquer

1. Reduceer een instantie van het probleem tot een kleinere instantie van hetzelfde probleem
2. Los de kleinere instantie op: vaak **recursief**
3. Breid de oplossing van de kleinere probleeminstantie uit tot een oplossing van de oorspronkelijke instantie

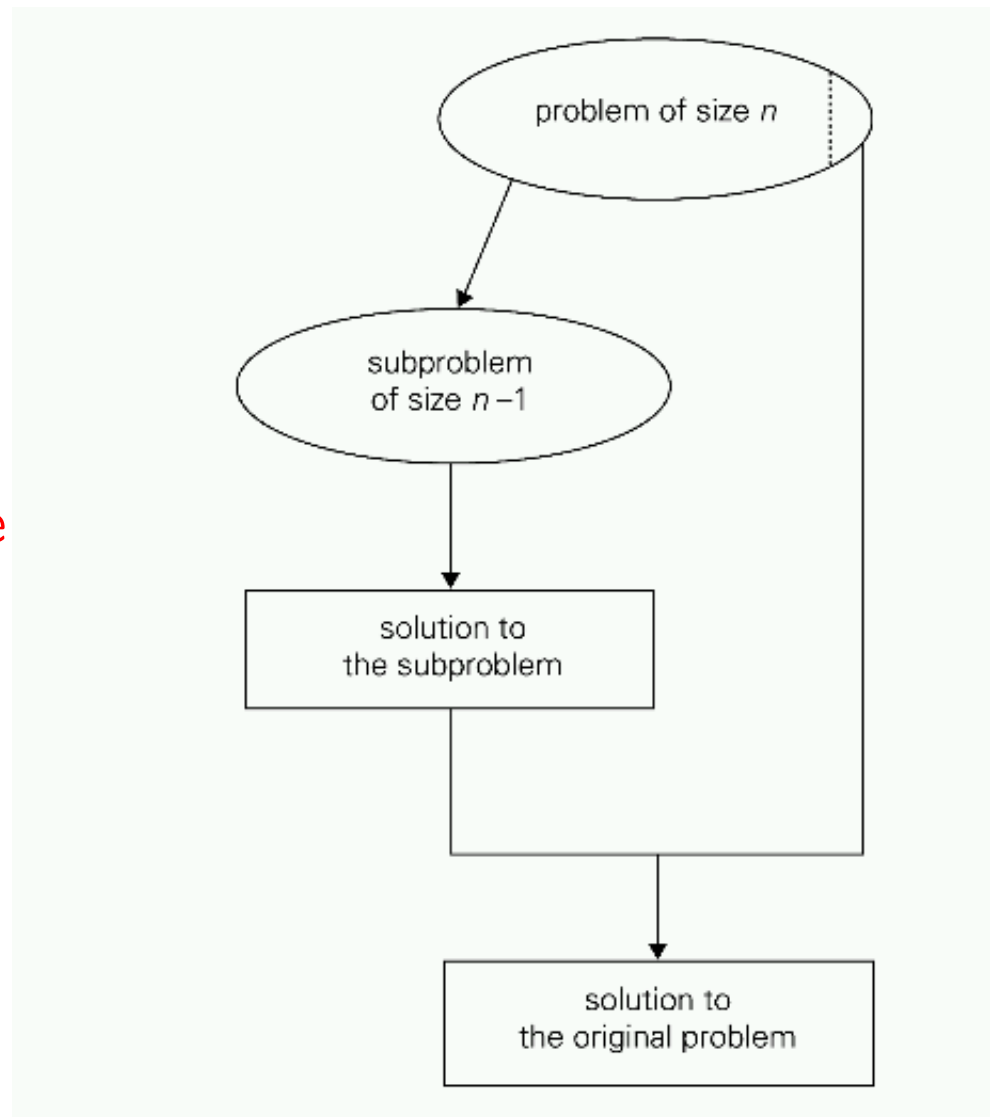
In het boek wordt onderscheid gemaakt tussen:

Decrease by one

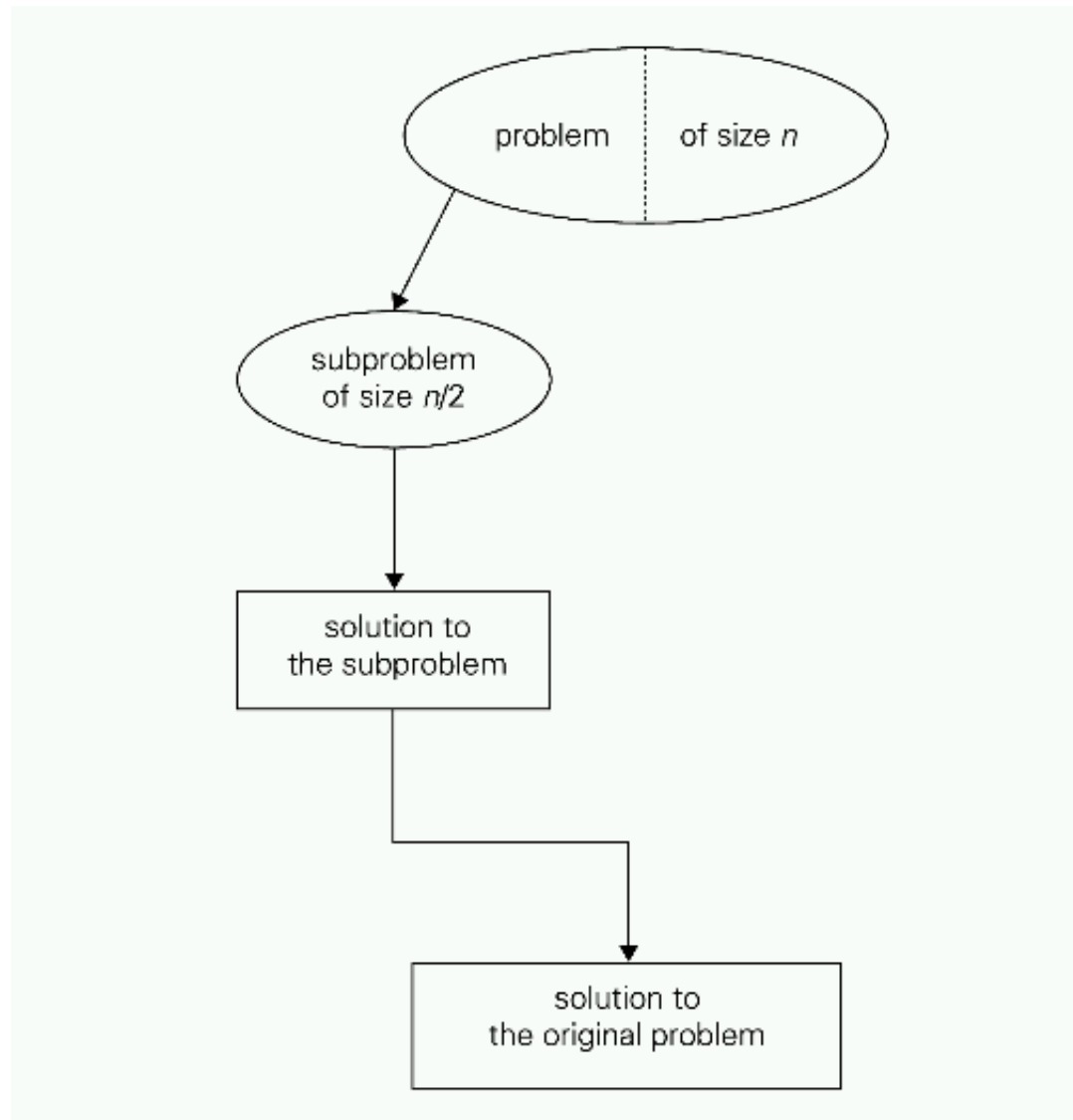
Decrease by a constant factor

Variable-size decrease

Decrease
by one



Decrease by a
constant factor
(decrease by half)



Verdeel en heers en sorteren:

Sorteer(rij)::

if (de rij heeft meer dan één element) **then**

Verdeel de rij in twee stukken: linkerrij en rechterrij;

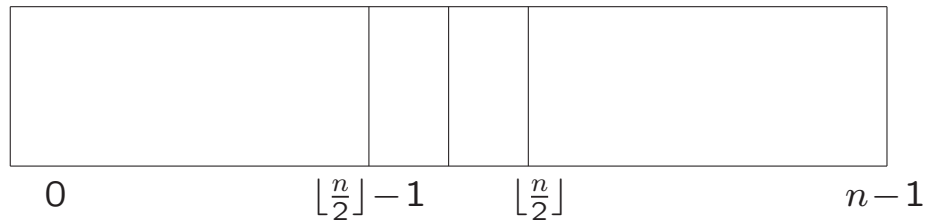
Sorteer(linkerrij);

Sorteer(rechterrij);

Combineer linkerrij en rechterrij;

fi .

Divide and conquer

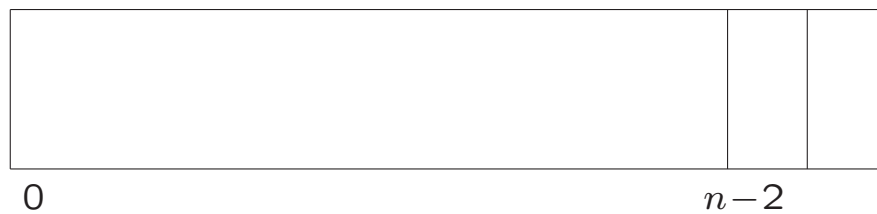


Mergesort



Quicksort

Decrease and conquer (decrease by one)



Insertion sort


```
Mergesort( $A[0 \dots n - 1]$ )::
  // sorteert het array  $A[0..n - 1]$  recursief
  // uitvoer:  $A[0..n - 1]$  olopend gesorteerd
  if  $n > 1$ 
    copieer( $A[0 \dots \lfloor \frac{n}{2} \rfloor - 1]$ ,  $B[0 \dots \lfloor \frac{n}{2} \rfloor - 1]$ );
    copieer( $A[\lfloor \frac{n}{2} \rfloor \dots n - 1]$ ,  $C[0 \dots \lceil \frac{n}{2} \rceil - 1]$ );
    Mergesort( $B[0 \dots \lfloor \frac{n}{2} \rfloor - 1]$ );
    Mergesort( $C[0 \dots \lceil \frac{n}{2} \rceil - 1]$ );
    Merge( $B, C, A$ );
  fi .
```

```
Merge( $B[0 \dots p - 1]$ ,  $C[0 \dots q - 1]$ ,  $A[0 \dots p + q - 1]$ ) ::  
// voegt 2 gesorteerde arrays  $B$  en  $C$  samen tot 1 gesorteerd array  $A$   
   $i, j, k := 0$ ;  
  // voeg samen totdat een van de twee op is: ritsen  
  while  $i < p$  and  $j < q$  do  
    if  $B[i] \leq C[j]$  then  
       $A[k] := B[i]; k := k + 1; i := i + 1$ ;  
    else  
       $A[k] := C[j]; k := k + 1; j := j + 1$ ;  
  od  
  // en de rest  
  if  $i = p$  then  
    copieer  $C[j \dots q - 1]$  naar  $A[k \dots p + q - 1]$ ;  
  else  
    copieer  $B[i \dots p - 1]$  naar  $A[k \dots p + q - 1]$ ;  
  fi .
```

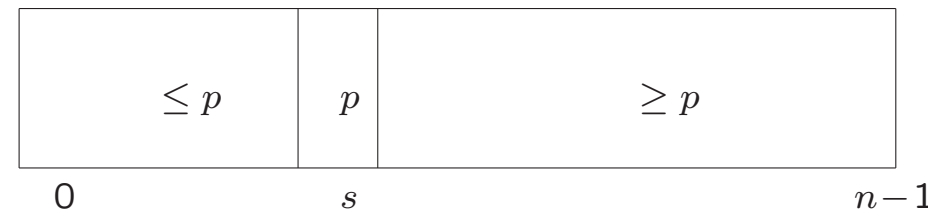
```
Quicksort( $A[l \dots r]$ )::  
// sorteert het (sub)array  $A[l \dots r]$  recursief  
// uitvoer:  $A[l \dots r]$  oplopend gesorteerd  
  if  $l < r$   
     $s := \text{Partitie}(A[l \dots r]);$  //  $s$  het splitspunt  
    Quicksort( $A[l \dots s - 1]$ );  
    Quicksort( $A[s + 1 \dots r]$ );  
  fi .
```

Partitie

```

Partitie( $A[l \dots r]$ ) ::
// partitioneert een (sub)array, met  $A[l]$  als spil (pivot)
 $p := A[l]$ ;
 $i := l; j := r + 1$ ;
repeat
    repeat  $i := i + 1$ ; until  $i > r$  or  $A[i] \geq p$ ;
    repeat  $j := j - 1$ ; until  $A[j] \leq p$ ;
    if  $i < j$  then
        Wissel( $A[i], A[j]$ );
    if
until  $i \geq j$ ;
Wissel( $A[l], A[j]$ );
return  $j$ ; .

```



Probleem: reorganiseer de elementen van een gegeven array A zodanig dat alle negatieve elementen voorafgaan aan de positieve. Het algoritme moet lineair zijn en in situ. Hint: vergelijk Partitie.

```
i = 0; j = n-1;
while (i <= j) {
    if (A[i] < 0)
        i = i+1;
    else {
        wissel(A[i],A[j]);
        j = j-1;
    }
}
```

Variant (Dutch National Flag): gegeven een array met 'R', 'W' en 'B'. Reorganiseer het array zodat v.l.n.r. eerst alle 'R', dan de 'W' en dan de 'B' staan. Zie Levitin, opgave 5.2.9.a.

DECREASE by one & CONQUER

Insertionsort($A[0 \dots m - 1]$)::

if $m > 1$

Insertionsort($A[0 \dots m - 2]$);

Voeg $A[m - 1]$ op de juiste plek in;

fi .

Invoegen van $A[m - 1]$ in het reeds gesorteerde voorstuk $A[0] \dots A[m - 2]$ door van rechts naar links $A[m - 1]$ te vergelijken met $A[i]$. Deze recursieve versie komt overeen met de iteratieve versie zoals bij **Programmeermethoden** behandeld (zie ook Levitin):

$$A[0] \leq A[1] \leq \dots \leq A[i] \leq A[i + 1] \leq \dots \leq A[m - 3] \leq A[m - 2] || A[m - 1] \dots$$

kleiner of gelijk $A[m - 1]$ \uparrow groter dan $A[m - 1]$

hier invoegen

Mergesort:

- worst case complexiteit: $\Theta(n \log n)$
- extra geheugen: $O(n)$

Quicksort:

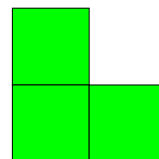
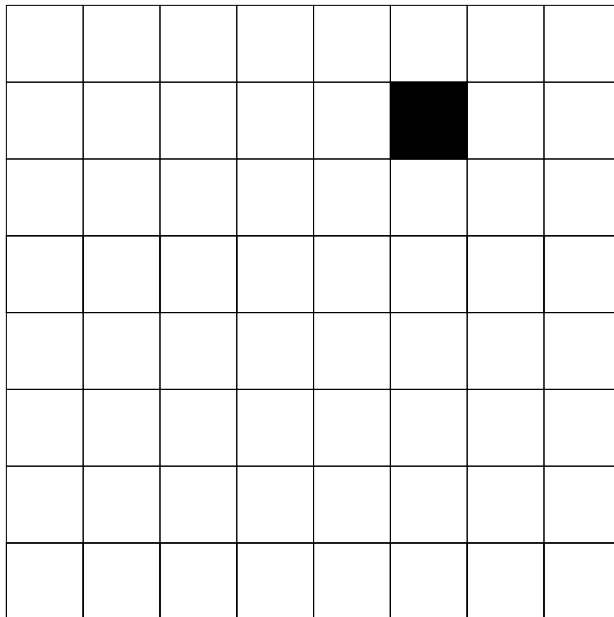
- worst case complexiteit: $\Theta(n^2)$ voor (o.a.) het reeds gesorteerde rijtje
- average case complexiteit: $\Theta(n \log n)$
- extra geheugen: in situ

Insertion sort:

- worst case/average case complexiteit: $\Theta(n^2)$
- extra geheugen: in situ

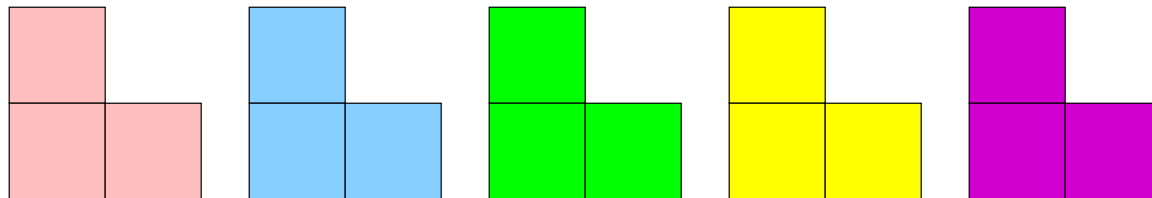
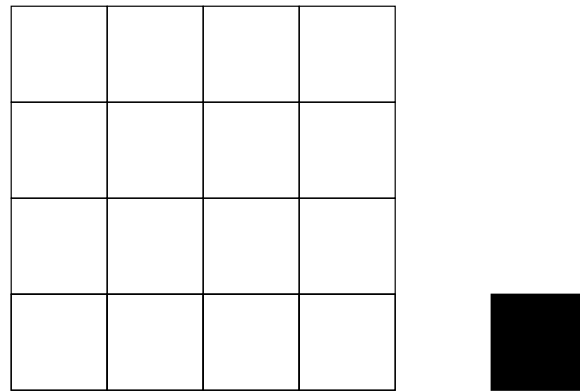
Nog een leuk voorbeeld van de methode Verdeel en heers is de Tromino puzzel, Levitin 5.1.11.

Bedek een $2^n \times 2^n$ schaakbord –waaruit één vakje mist– met tromino's.

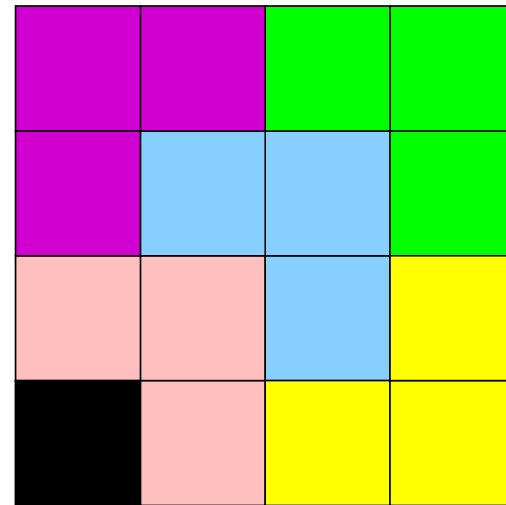
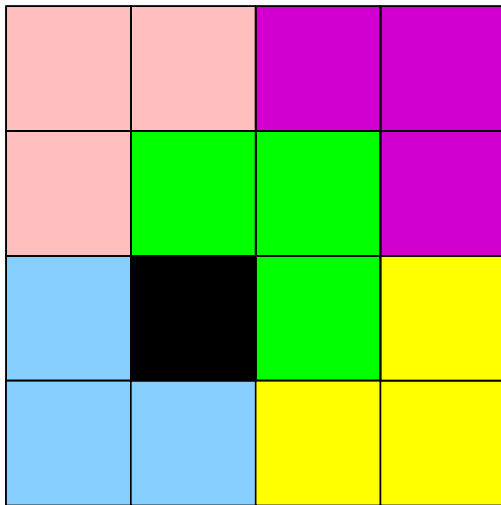


Het 8x8 geval

Het 4x4 geval: gegeven een 4x4 bord waaruit één vakje mist. Bedek het bord volledig (behalve het missende vakje), dus met 5 tromino's.

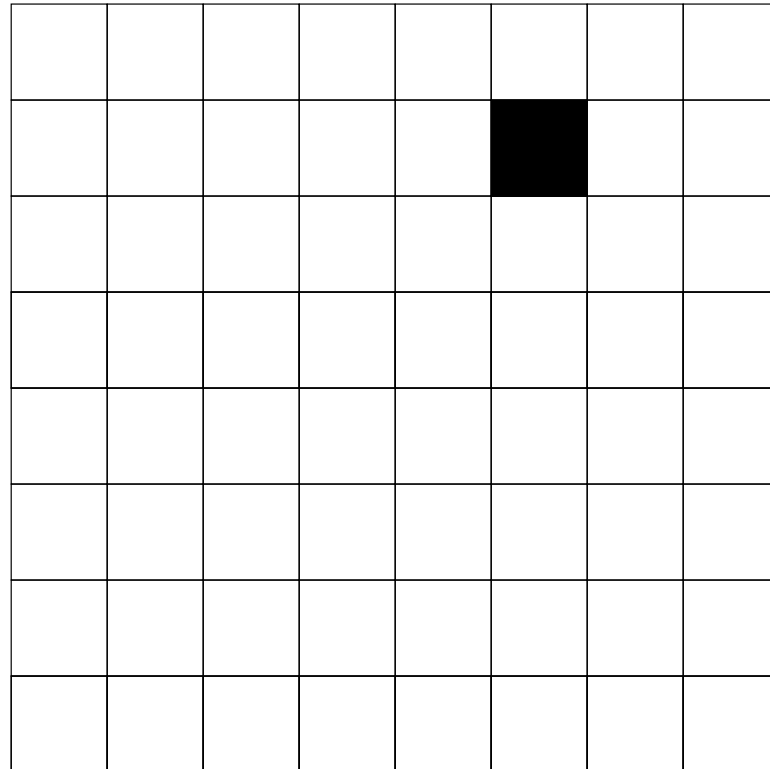


Het 4x4 geval: twee probleeminstanties met oplossing (= bedekking)

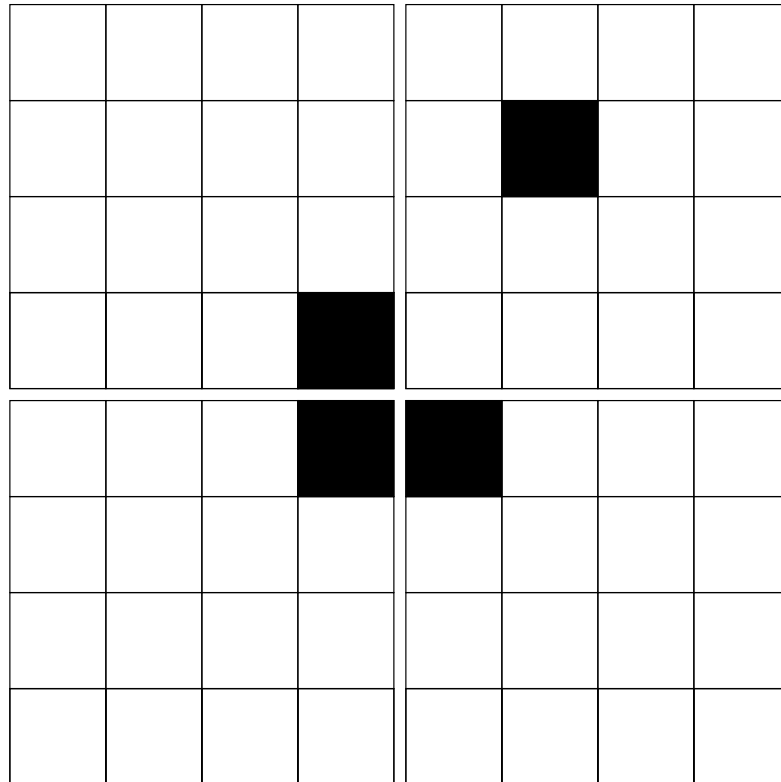


Het 8x8 geval: hoe vinden we een (de?) bedekking met tromino's?

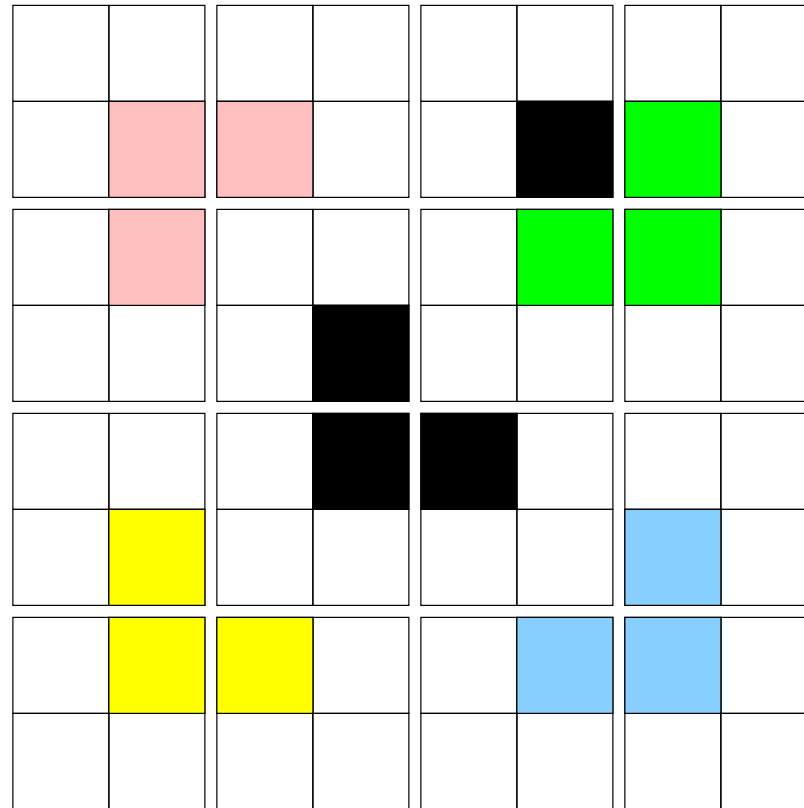
Bijvoorbeeld voor dit bord:



Leg een tromino in het midden, zodat in elk kwart één stuk mist of bedekt is. Het probleem is nu teruggebracht tot vier keer hetzelfde probleem, maar dan voor 4x4 borden.



Doe weer hetzelfde (recursie!) met de 4x4 borden.



Dit **divide and conquer** algoritme kun je op elk $2^n \times 2^n$ bord toepassen.

Vermenigvuldiging van grote integers:

Het voor de hand liggende algoritme gebruikt voor de vermenigvuldiging van twee getallen bestaande uit n -cijfers (digits) n^2 digit-vermenigvuldigingen

Vermenigvuldiging van grote integers:

Het voor de hand liggende algoritme gebruikt voor de vermenigvuldiging van twee getallen bestaande uit n -cijfers (digits) n^2 digit-vermenigvuldigingen. Het kan echter op magische wijze beter (althans voor zeer grote getallen) via **divide and conquer**. Gebruik een generalisatie van de volgende truc (met $n = 2$):

$$c = a * b = (a_1 10^1 + a_0) * (b_1 10^1 + b_0) = c_2 10^2 + c_1 10^1 + c_0$$

$$c_2 = a_1 * b_1$$

$$c_0 = a_0 * b_0$$

$$c_1 = (a_1 + a_0) * (b_1 + b_0) - (c_2 + c_0)$$

Voor $n = 2$ zijn hier dus 3 i.p.v. 4 digit-vermenigvuldigingen gebruikt!

Voorbeeld $n = 8$:

$$87593264 * 49367251 =$$

$$(8759 \cdot 10^4 + 3264) * (4936 \cdot 10^4 + 7251) = c_2 10^8 + c_1 10^4 + c_0$$

$$c_2 = 8759 * 4936$$

$$c_0 = 3264 * 7251$$

$$c_1 = 8759 * 7251 + 3264 * 4936 =$$

$$(8759 + 3264) * (4936 + 7251) - (c_2 + c_0)$$

Het vermenigvuldigen van twee getallen bestaande uit $n = 2^k$ bits is zo teruggebracht tot 3 keer hetzelfde probleem voor $n/2 = 2^{k-1}$. Als $M(n)$ het aantal digitvermenigvuldigingen is voor $n = 2^k$, dan voldoet $M(n)$ aan:

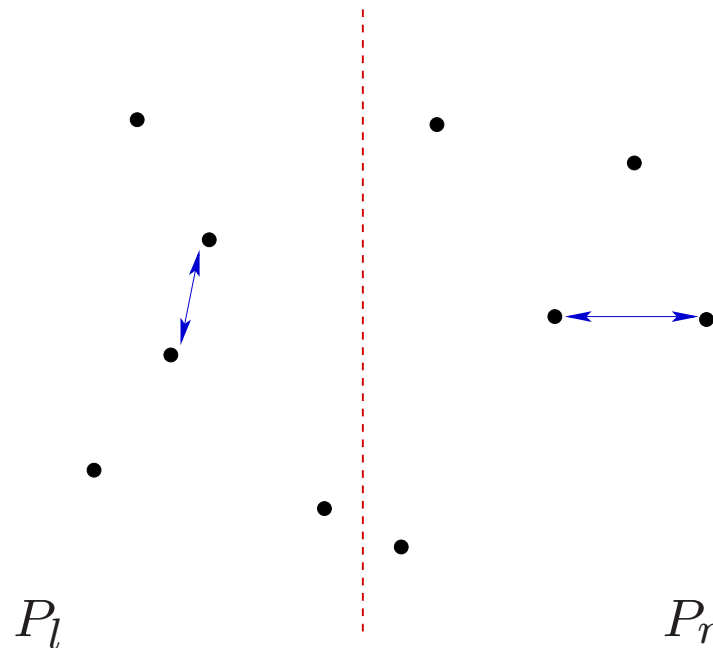
$$M(n) = 3 * M(n/2) \text{ als } n > 1; M(1) = 1,$$

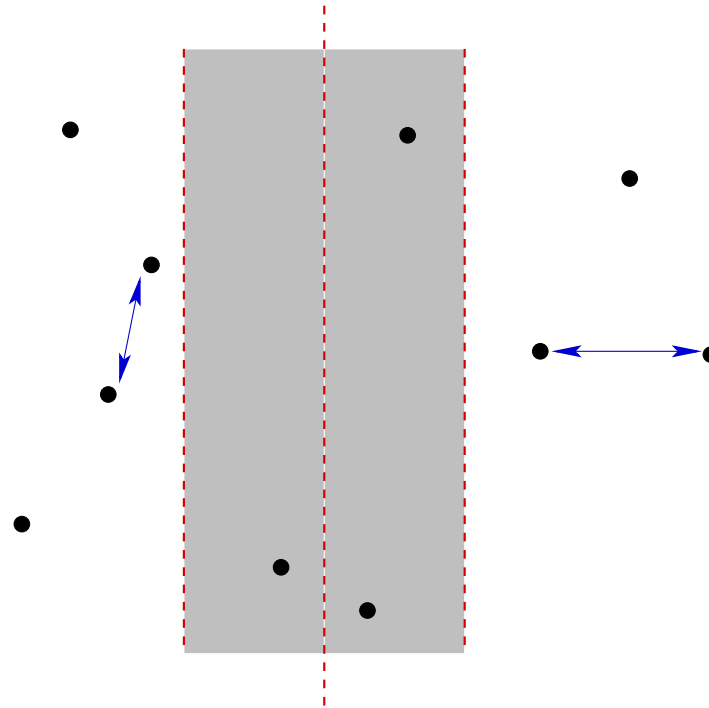
en vinden we: $M(n) = n^{\lg 3}$.

Divide and Conquer:

Verdeel de verzameling van n punten in twee verzamelingen P_l en P_r van elk $\frac{n}{2}$ punten door een geschikte lijn te trekken.

Los beide deelproblemen (recursief) op en laat d de kleinst voorkomende afstand zijn tussen punten van P_l resp. P_r .

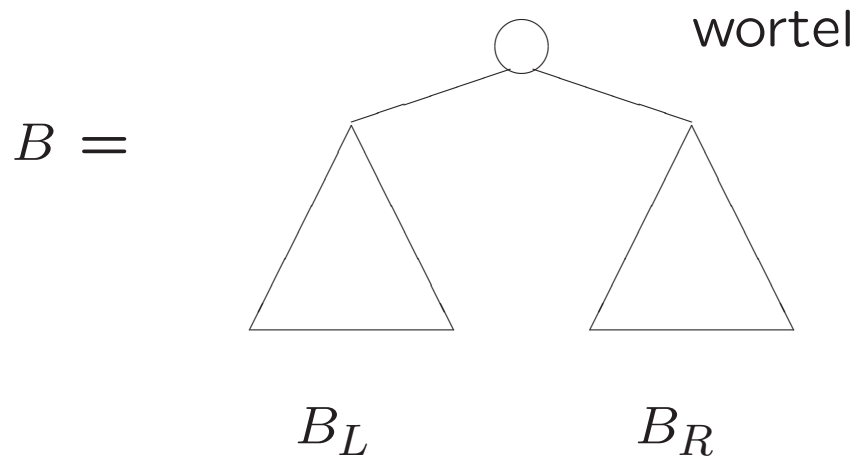




Controleer of er binnen de strip ter breedte $2d$ rondom de scheidlijn tussen P_l en P_r puntenparen (p, p') zijn met $p \in P_l$ en $p' \in P_r$ en onderlinge afstand kleiner dan d .

Hiervoor blijken slechts $O(n)$ puntenparen bekeken te moeten worden. Dit levert een $O(n \lg n)$ algoritme op.

Een binaire boom B wordt **recursief** gedefinieerd als ofwel leeg, ofwel bestaande uit een knoop (de wortel) en twee disjuncte subbomen B_L en B_R die beide ook weer een binaire boom zijn: de **linkersubboom** en de **rechtersubboom**.



Bij (veel) problemen met binaire bomen ligt oplossen via divide & conquer dus voor de hand.

De **hoogte** van een binaire boom is het hoogste nivo dat voorkomt, waarbij de wortel per definitie op nivo 0 zit.

Voor de hoogte van een binaire boom B geldt dus:

$$\text{hoogte}(B) = 1 + \max \{ \text{hoogte}(B_L), \text{hoogte}(B_R) \}$$

Verdeel en heers algoritme in C++:

```
int hoogte( knoop * root ) {
    if ( root == NULL )        // lege boom
        return -1;
    else
        return ( 1 + max( hoogte( root->links ), hoogte( root->rechts ) ) )
} // hoogte
```

DECREASE by one & CONQUER

```

Insertionsort( $A[0 \dots m - 1]$ )::
  if  $m > 1$ 
    Insertionsort( $A[0 \dots m - 2]$ );
    Voeg  $A[m - 1]$  op de juiste plek in;
  fi .

```

Invoegen van $A[m - 1]$ in het reeds gesorteerde voorstuk $A[0] \dots A[m - 2]$ door van rechts naar links $A[m - 1]$ te vergelijken met $A[i]$. Deze recursieve versie komt overeen met de iteratieve versie zoals bij [Programmeermethoden](#) behandeld (zie ook Levitin):

$$A[0] \leq A[1] \leq \dots \leq A[i] \leq A[i + 1] \leq \dots \leq A[m - 3] \leq A[m - 2] || A[m - 1] \dots$$

kleiner of gelijk $A[m - 1]$ \uparrow groter dan $A[m - 1]$

hier invoegen

Binair zoeken is een voorbeeld van decrease and conquer, **decrease by a constant factor**. Hier de iteratieve versie.

// invoer: oplopend gesorteerd array $A[0..n - 1]$, te zoeken waarde K
 // uitvoer: positie van K in A (-1 als K niet in A zit)

$l := 0; r := n - 1;$

while $l \leq r$ **do**

$m := \lfloor \frac{l+r}{2} \rfloor;$

if $K = A[m]$ **then** // gevonden

return $m;$

else if $K < A[m]$ **then** // links verder zoeken

$r = m - 1;$

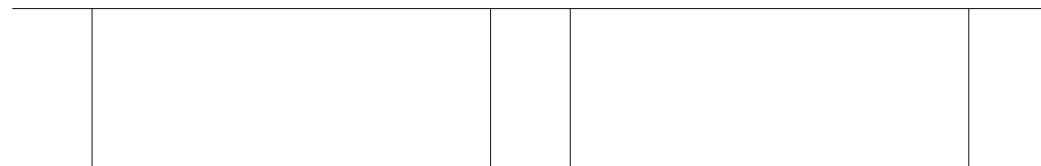
else // rechts verder zoeken

$l = m + 1;$ **fi**

fi

od

return $-1;$

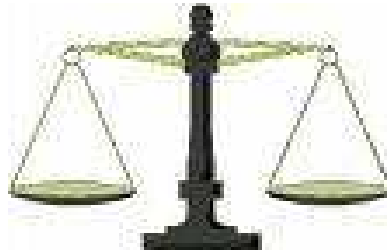


l m r

altijd *links* óf *rechts* verdergaan

Fake coin probleem

Gegeven n identiek uitziende munten. Eén ervan is vals. Bekend is dat de valse munt lichter is dan de andere. Tevens is een balans beschikbaar. Bepaal door weging de valse munt.



Decrease by a constant factor: verdeel de munten in twee stapels van $\lfloor \frac{n}{2} \rfloor$ en —indien n oneven— een losse munt. Als de twee stapels even zwaar zijn (best case) is de losse munt de valse. Zo niet, dan bevindt de valse zich in de lichtste van de twee stapels.

Recurrente betrekking voor het aantal wegingen dat nodig is in de **worst case** om de valse munt te ontdekken:

$$W(n) = W(\lfloor \frac{n}{2} \rfloor) + 1 \text{ als } n > 1, W(1) = 0$$

Oplossing: $W(n) = \lfloor \lg n \rfloor$.

Zie Levitin excercise 4.5.10 voor een efficiënter decrease by a constant factor algoritme.

- **Lezen/leren bij dit college:**

Paragraaf 5 incl., 5.1-5.5 (geen Strassen, convex hull),
4 incl., 4.1, 4.4

- **Werkcollege:** verdeel en heers

donderdag 24 maart 2016, 13:45–15:30, in zaal Benoordenhout

- **Opgaven:**

zie <http://www.liacs.leidenuniv.nl/~vlietrvan1/algoritmiek/>

- **Volgend college:**

donderdag 31 maart 2016