

Algoritmy třídění (bubblesort, heapsort, quicksort)

doc. RNDr Petr Jančar, CSc.

Katedra informatiky FEI VŠB-TU
www.cs.vsb.cz/jancar

LS 2006/2007

Název problému: Třídění čísel

Vstup: konečná posloupnost přirozených čísel

Výstup: posloupnost týchž čísel uspořádaná podle velikosti ve vzestupném pořadí

Například:

Vstup: 2,8,7,9,3,1,4

Výstup: 1,2,3,4,7,8,9

Jeden (určitě ne nejlepší !) algoritmus řešící Třídění:

Bubblesort

- Projdi posloupnost zleva doprava, přičemž prohazuješ sousední dvojice čísel, pokud v nich větší číslo předchází menší.
- Tento postup opakuj, dokud nedostaneš uspořádanou posloupnost.

Bubblesort

2	8	7	9	3	1	4
---	---	---	---	---	---	---

Bubblesort

2	8	7	9	3	1	4
2	8	7	9	3	1	4

Bubblesort

2	8	7	9	3	1	4
2	8	7	9	3	1	4
2	7	8	9	3	1	4

Bubblesort

2	8	7	9	3	1	4
2	8	7	9	3	1	4
2	7	8	9	3	1	4
2	7	8	9	3	1	4

Bubblesort

2	8	7	9	3	1	4
2	8	7	9	3	1	4
2	7	8	9	3	1	4
2	7	8	9	3	1	4
2	7	8	3	9	1	4

Bubblesort

2	8	7	9	3	1	4
2	8	7	9	3	1	4
2	7	8	9	3	1	4
2	7	8	9	3	1	4
2	7	8	3	9	1	4
2	7	8	3	1	9	4

Bubblesort

2	8	7	9	3	1	4
2	8	7	9	3	1	4
2	7	8	9	3	1	4
2	7	8	9	3	1	4
2	7	8	3	9	1	4
2	7	8	3	1	9	4
2	7	8	3	1	4	9

Bubblesort

2	8	7	9	3	1	4
2	8	7	9	3	1	4
2	7	8	9	3	1	4
2	7	8	9	3	1	4
2	7	8	3	9	1	4
2	7	8	3	1	9	4
2	7	8	3	1	4	9

2	7	8	3	1	4	9
---	---	---	---	---	---	---

Bubblesort

2	8	7	9	3	1	4
2	8	7	9	3	1	4
2	7	8	9	3	1	4
2	7	8	9	3	1	4
2	7	8	3	9	1	4
2	7	8	3	1	9	4
2	7	8	3	1	4	9

2	7	8	3	1	4	9
2	7	8	3	1	4	9

Bubblesort

2	8	7	9	3	1	4
2	8	7	9	3	1	4
2	7	8	9	3	1	4
2	7	8	9	3	1	4
2	7	8	3	9	1	4
2	7	8	3	1	9	4
2	7	8	3	1	4	9

2	7	8	3	1	4	9
2	7	8	3	1	4	9
2	7	8	3	1	4	9

Bubblesort

2	8	7	9	3	1	4
2	8	7	9	3	1	4
2	7	8	9	3	1	4
2	7	8	9	3	1	4
2	7	8	3	9	1	4
2	7	8	3	1	9	4
2	7	8	3	1	4	9

2	7	8	3	1	4	9
2	7	8	3	1	4	9
2	7	8	3	1	4	9
2	7	3	8	1	4	9

Bubblesort

2	8	7	9	3	1	4
2	8	7	9	3	1	4
2	7	8	9	3	1	4
2	7	8	9	3	1	4
2	7	8	3	9	1	4
2	7	8	3	1	9	4
2	7	8	3	1	4	9

2	7	8	3	1	4	9
2	7	8	3	1	4	9
2	7	8	3	1	4	9
2	7	3	8	1	4	9
2	7	3	1	8	4	9

Bubblesort

2	8	7	9	3	1	4
2	8	7	9	3	1	4
2	7	8	9	3	1	4
2	7	8	9	3	1	4
2	7	8	3	9	1	4
2	7	8	3	1	9	4
2	7	8	3	1	4	9

2	7	8	3	1	4	9
2	7	8	3	1	4	9
2	7	8	3	1	4	9
2	7	3	8	1	4	9
2	7	3	1	8	4	9
2	7	3	1	4	8	9


```
while Nesetříděno do  
  for  $i := 1$  to  $n - 1$  do  
    if  $A[i] > A[i + 1]$  then  
      prohoď  $A[i]$  a  $A[i + 1]$ 
```

```
 $n := 0;$ 
```

```
repeat  $n := n + 1;$  read( $A[n]$ ) until  $A[n] = 0;$ 
```

```
 $n := n - 1;$ 
```

```
for  $j := 1$  to  $n - 1$  do
```

```
  for  $i := 1$  to  $n - j$  do
```

```
    if  $A[i] > A[i + 1]$  then
```

```
      ( $pom := A[i]; A[i] := A[i + 1]; A[i + 1] := pom$ );
```

```
for  $i := 1$  to  $n$  do write( $A[i]$ )
```

Heapsort

2	8	7	9	3	1	4
---	---	---	---	---	---	---

Heapsort

2	8	7	9	3	1	4
---	---	---	---	---	---	---

2

1

Heapsort

2	8	7	9	3	1	4
---	---	---	---	---	---	---

2

1

8

2

Heapsort

2	8	7	9	3	1	4
---	---	---	---	---	---	---

2

1

8	7
---	---

2 3

Heapsort

2	8	7	9	3	1	4
---	---	---	---	---	---	---

2

1

8	7
---	---

2 3

9

4

Heapsort

2	8	7	9	3	1	4
---	---	---	---	---	---	---

2

1

8	7
---	---

2 3

9	3
---	---

4 5

Heapsort

2	8	7	9	3	1	4
---	---	---	---	---	---	---

2

1

3	7
---	---

2 3

9	8
---	---

4 5

Heapsort

2	8	7	9	3	1	4
---	---	---	---	---	---	---

2

1

3	7
---	---

2 3

9	8	1
---	---	---

4 5 6

Heapsort

2	8	7	9	3	1	4
---	---	---	---	---	---	---

2

1

3	1
---	---

2 3

9	8	7
---	---	---

4 5 6

Heapsort

2	8	7	9	3	1	4
---	---	---	---	---	---	---

1

1

3	2
---	---

2 3

9	8	7
---	---	---

4 5 6

Heapsort

2 8 7 9 3 1 4

1

1

3 2

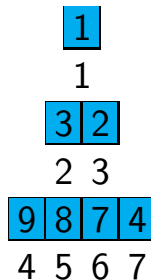
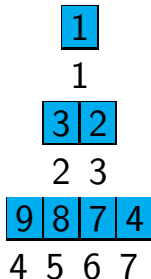
2 3

9 8 7 4

4 5 6 7

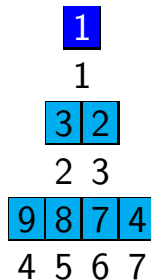
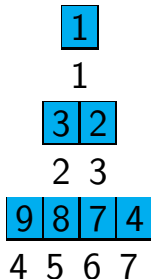
Heapsort

2 8 7 9 3 1 4



Heapsort

2 8 7 9 3 1 4



1

Heapsort

2 8 7 9 3 1 4

1

1

3 2

2 3

9 8 7 4

4 5 6 7

4

1

3 2

2 3

9 8 7

4 5 6

1

Heapsort

2 8 7 9 3 1 4

1

1

3 2

2 3

9 8 7 4

4 5 6 7

2

1

3 4

2 3

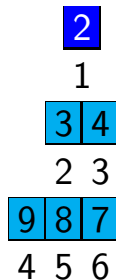
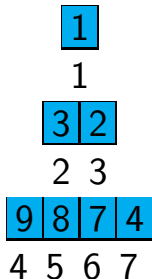
9 8 7

4 5 6

1

Heapsort

2 8 7 9 3 1 4



1 2

Heapsort

2 8 7 9 3 1 4

1

1

3 2

2 3

9 8 7 4

4 5 6 7

7

1

3 4

2 3

9 8

4 5

1 2

Heapsort

2 8 7 9 3 1 4

1

1

3 2

2 3

9 8 7 4

4 5 6 7

3

1

7 4

2 3

9 8

4 5

1 2

Heapsort

2 8 7 9 3 1 4

1

1

3 2

2 3

9 8 7 4

4 5 6 7

3

1

7 4

2 3

9 8

4 5

1 2 3

Heapsort

2 8 7 9 3 1 4

1

1

3 2

2 3

9 8 7 4

4 5 6 7

8

1

7 4

2 3

9

4

1 2 3

Heapsort

2 8 7 9 3 1 4

1

1

3 2

2 3

9 8 7 4

4 5 6 7

4

1

7 8

2 3

9

4

1 2 3

Heapsort

2 8 7 9 3 1 4

1

1

3 2

2 3

9 8 7 4

4 5 6 7

4

1

7 8

2 3

9

4

1 2 3 4

Heapsort

2 8 7 9 3 1 4

1

1

3 2

2 3

9 8 7 4

4 5 6 7

9

1

7 8

2 3

1 2 3 4

Heapsort

2 8 7 9 3 1 4

1

1

3 2

2 3

9 8 7 4

4 5 6 7

7

1

9 8

2 3

1 2 3 4

Heapsort

2 8 7 9 3 1 4

1

1

3 2

2 3

9 8 7 4

4 5 6 7

7

1

9 8

2 3

1 2 3 4 7

Heapsort

2 8 7 9 3 1 4

1

1

3 2

2 3

9 8 7 4

4 5 6 7

8

1

9

2

1 2 3 4 7

Heapsort

2 8 7 9 3 1 4

1

1

3 2

2 3

9 8 7 4

4 5 6 7

8

1

9

2

1 2 3 4 7 8

Heapsort

2 8 7 9 3 1 4

1

1

3 2

2 3

9 8 7 4

4 5 6 7

9

1

1 2 3 4 7 8

Heapsort

2 8 7 9 3 1 4

1

1

3 2

2 3

9 8 7 4

4 5 6 7

9

1

1 2 3 4 7 8 9

Heapsort

2 8 7 9 3 1 4

1

1

3 2

2 3

9 8 7 4

4 5 6 7

1 2 3 4 7 8 9

Heapsort - program

```
{(var H: array[1.. ] of integer)}  
{kon udává aktuální koncový index haldy}  
kon:=0; {halda je prázdná}  
read(clen);  
while clen  $\neq$  0 do  
    Zarad-do-haldy(clen);  
    read(clen);  
while kon > 0 {halda není prázdná} do  
    Vydej-min-z-haldy(clen); write(clen)
```



```
procedure Zarad-do-haldy( $k$ );  
 $kon := kon + 1$ ;  $H[kon] := k$ ;  
 $p := kon$ ;  
while ( $p > 1$  and  $H[p \text{ div } 2] > H[p]$ ) do  
  prohod  $H[p \text{ div } 2]$  a  $H[p]$ ;  
   $p := p \text{ div } 2$ ;
```

```

procedure Vydej-min-z-haldy(var min);
min :=  $H[1]$ ;
if kon > 1 then  $H[1] := H[kon]$ ;
kon := kon - 1;
p := 1;
while ( $2 * p + 1 \leq kon$  and
    ( $H[p] > H[2 * p]$  or  $H[p] > H[2 * p + 1]$ )) do
    if  $H[2 * p] \leq H[2 * p + 1]$ 
    then (prohod  $H[p]$  a  $H[2 * p]$ ;  $p := 2 * p$ )
    else (prohod  $H[p]$  a  $H[2 * p + 1]$ ;  $p := 2 * p + 1$ );
if ( $2 * p = kon$  and  $H[p] > H[2 * p]$ )
then prohod  $H[p]$  a  $H[2 * p]$ 

```

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4
---	---	---	---	---	---	---

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4
---	---	---	---	---	---	---

2	8	7	9	3	1	4
---	---	---	---	---	---	---

 pivot

2

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4	
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4	
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4	
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4	
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4	
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4	
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4	
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4	
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4	
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4	
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4	
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4	
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4	
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2

1	8	7	9	3	2	4
---	---	---	---	---	---	---

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4	
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2

1	8	7	9	3	2	4	
8	7	9	3	2	4	pivot 8	

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4	
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2

1	8	7	9	3	2	4	
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4	
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2

1	8	7	9	3	2	4	
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4	
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2

1	8	7	9	3	2	4	
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4	
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2

1	8	7	9	3	2	4	
8	7	9	3	2	4		pivot 8
8	7	9	3	2	4		pivot 8
8	7	9	3	2	4		pivot 8
8	7	9	3	2	4		pivot 8
8	7	9	3	2	4		pivot 8
8	7	9	3	2	4		pivot 8

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4	
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2

1	8	7	9	3	2	4	
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8
4	7	9	3	2	8	8	pivot 8

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4	
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2

1	8	7	9	3	2	4	
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8
4	7	9	3	2	8	8	pivot 8
4	7	9	3	2	8	8	pivot 8

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4	
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2

1	8	7	9	3	2	4	
8	7	9	3	2	4		pivot 8
8	7	9	3	2	4		pivot 8
8	7	9	3	2	4		pivot 8
8	7	9	3	2	4		pivot 8
8	7	9	3	2	4		pivot 8
4	7	9	3	2	8		pivot 8
4	7	9	3	2	8		pivot 8
4	7	9	3	2	8		pivot 8
4	7	9	3	2	8		pivot 8

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4		
2	8	7	9	3	1	4	pivot	2
2	8	7	9	3	1	4	pivot	2
2	8	7	9	3	1	4	pivot	2
2	8	7	9	3	1	4	pivot	2
2	8	7	9	3	1	4	pivot	2
2	8	7	9	3	1	4	pivot	2
1	8	7	9	3	2	4	pivot	2
1	8	7	9	3	2	4	pivot	2
1	8	7	9	3	2	4	pivot	2
1	8	7	9	3	2	4	pivot	2
1	8	7	9	3	2	4	pivot	2
1	8	7	9	3	2	4	pivot	2
1	8	7	9	3	2	4	pivot	2
1	8	7	9	3	2	4	pivot	2

1	8	7	9	3	2	4		
8	7	9	3	2	4	pivot	8	
8	7	9	3	2	4	pivot	8	
8	7	9	3	2	4	pivot	8	
8	7	9	3	2	4	pivot	8	
8	7	9	3	2	4	pivot	8	
4	7	9	3	2	8	pivot	8	
4	7	9	3	2	8	pivot	8	
4	7	9	3	2	8	pivot	8	
4	7	9	3	2	8	pivot	8	
4	7	9	3	2	8	pivot	8	
4	7	9	3	2	8	pivot	8	
4	7	9	3	2	8	pivot	8	
4	7	9	3	2	8	pivot	8	
4	7	9	3	2	8	pivot	8	

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4	
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2

1	8	7	9	3	2	4	
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8
4	7	9	3	2	8	8	pivot 8
4	7	9	3	2	8	8	pivot 8
4	7	9	3	2	8	8	pivot 8
4	7	9	3	2	8	8	pivot 8
4	7	9	3	2	8	8	pivot 8
4	7	9	3	2	8	8	pivot 8
4	7	9	3	2	8	8	pivot 8
4	7	9	3	2	8	8	pivot 8
4	7	9	3	2	8	8	pivot 8

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4	
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2

1	8	7	9	3	2	4	
8	7	9	3	2	4		pivot 8
8	7	9	3	2	4		pivot 8
8	7	9	3	2	4		pivot 8
8	7	9	3	2	4		pivot 8
8	7	9	3	2	4		pivot 8
4	7	9	3	2	8		pivot 8
4	7	9	3	2	8		pivot 8
4	7	9	3	2	8		pivot 8
4	7	9	3	2	8		pivot 8
4	7	9	3	2	8		pivot 8
4	7	2	3	9	8		pivot 8
4	7	2	3	9	8		pivot 8

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4	
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2

1	8	7	9	3	2	4	
8	7	9	3	2	4		pivot 8
8	7	9	3	2	4		pivot 8
8	7	9	3	2	4		pivot 8
8	7	9	3	2	4		pivot 8
8	7	9	3	2	4		pivot 8
4	7	9	3	2	8		pivot 8
4	7	9	3	2	8		pivot 8
4	7	9	3	2	8		pivot 8
4	7	9	3	2	8		pivot 8
4	7	9	3	2	8		pivot 8
4	7	2	3	9	8		pivot 8
4	7	2	3	9	8		pivot 8
4	7	2	3	9	8		pivot 8
4	7	2	3	9	8		pivot 8

Quicksort

2	8	7	9	3	1	4	
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
2	8	7	9	3	1	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2
1	8	7	9	3	2	4	pivot 2

1	8	7	9	3	2	4	
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8
8	7	9	3	2	4	8	pivot 8
4	7	9	3	2	8	8	pivot 8
4	7	9	3	2	8	8	pivot 8
4	7	9	3	2	8	8	pivot 8
4	7	9	3	2	8	8	pivot 8
4	7	9	3	2	8	8	pivot 8
4	7	9	3	2	8	8	pivot 8
4	7	2	3	9	8	8	pivot 8
4	7	2	3	9	8	8	pivot 8
4	7	2	3	9	8	8	pivot 8

```
procedure Quicksort( $A, p, r$ ) ;
```

```
if  $p < r$  then
```

```
   $j :=$  Partition( $A, p, r$ )
```

```
  Quicksort( $A, p, j$ )
```

```
  Quicksort( $A, j+1, r$ )
```

```
procedure Partition( $A, p, r$ ) ;
```

```
 $x := A[p]$ ;  $i := p - 1$ ;  $j := r + 1$ ;
```

```
while TRUE do
```

```
  repeat  $j := j - 1$  until  $A[j] \leq x$ ;
```

```
  repeat  $i := i + 1$  until  $A[i] \geq x$ ;
```

```
  if  $i < j$  then exchange  $A[i], A[j]$  else return  $j$ 
```

(Časová) složitost algoritmů pro problém Třídění

- Bubblesort: $O(n^2)$, přesněji $\Theta(n^2)$
- Heapsort: $O(n \log n)$, přesněji $\Theta(n \log n)$

Odhady platí pro **worst-case** i **average-case**.

- Quicksort:
 - $\Theta(n^2)$ pro **worst-case**
 - $\Theta(n \log n)$ pro **average-case** .