



Estructuras de Datos
Clase 21 – Ordenamiento



Dr. Sergio A. Gómez
<http://cs.uns.edu.ar/~sag>



Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación
Universidad Nacional del Sur
Bahía Blanca, Argentina

Definición del problema

Dado un arreglo a de n componentes enteras $a[0], a[1], \dots, a[n-1]$ se desea obtener una permutación de a tal que $a[0] \leq a[1] \leq \dots \leq a[n-2] \leq a[n-1]$.

Estructuras de datos - Dr. Sergio A. Gómez 2

Resumen de métodos de ordenamiento

- **Multipasada: $O(n^2)$**
 - Selección (selection sort)
 - Burbuja (bubble sort) o intercambio (exchange sort)
 - Inserción (insertion sort)
- **Merge sort: $O(n \cdot \log_2(n))$**
- **Heap sort: $O(n \cdot \log_2(n))$**
- **Quick sort: $O(n^2)$ en peor caso pero se espera $O(n \cdot \log_2(n))$ en promedio**


Estructuras de datos - Dr. Sergio A. Gómez 3

Ordenamiento por selección

- **Algoritmo:**
Haremos $n-1$ pasadas sobre el arreglo a
En la pasada i -ésima, encontramos el i -ésimo menor elemento del arreglo y lo intercambiamos con $a[i]$

Pasada 1:


3 5 2 1 4



intercambiar $a[0]$ con $a[3]$

Pasada 2:


1 5 2 3 4



intercambiar $a[1]$ con $a[2]$

Pasada 3:


1 2 5 3 4



intercambiar $a[2]$ con $a[3]$

Pasada 4:

1 2 3 5 4



intercambiar $a[3]$ con $a[4]$

Pasada 4:

1 2 3 4 5

Estructuras de datos - Dr. Sergio A. Gómez 4

```

public static void selectionsort( int [] a, int n ) {
    for( int i=0; i<n-1; i++ ) {
        // Hallar el mínimo a[p] de a[i], ..., a[n-1]
        p = i;
        for( int j=i+1; j<n; j++ )
            if( a[j] < a[p] ) p = j;

        // Intercambiar a[i] y a[p]
        int item = a[p];
        a[p] = a[i];
        a[i] = item;

        // Ahora a[0] <= ... <= a[i] y
        // a[i] <= a[j] cuando i < j < n
    }
}

T_selectionsort( n ) = O(n^2)

```

Estructuras de datos - Dr. Sergio A. Gómez 5

Ordenamiento por intercambio (burbuja)

- En cada pasada el burbuja mira dos elementos adyacentes y los intercambia si están fuera de orden.
- En cada pasada, el mayor elemento del arreglo queda al final del subarreglo que se está ordenando
- Son necesarias $n-1$ pasadas (ya que el primer elemento queda ordenado gratis)

Estructuras de datos - Dr. Sergio A. Gómez 6

El uso total o parcial de este material está permitido siempre que se haga mención explícita de su fuente:
"Estructuras de Datos. Notas de Clase". Sergio A. Gómez. Universidad Nacional del Sur. (c) 2013-2019

```

public static void bubblesort( int [] a, int n ) {
    for( int i=n-1; i>=0; i-- ) {
        // Burbujear el item más grande en a[0], ..., a[i] a a[i]
        for( int j=0; j<i; j++)
            if( a[j] > a[j+1] ) {
                // Intercambiar items
                int item = a[j];
                a[j] = a[j+1];
                a[j+1] = item;
            }

        // Ahora a[i] <= ... <= a[n] y
        // a[j] <= a[i] cuando 0 <= j < i-1
    }
}

T_bubblesort(n) = O(n^2)

```

Optimización: Cuando nunca se entra al if en una iteración de i significa que el arreglo está ordenado. La optimización consiste en ubicar una bandera en el if y setearla en true al entrar. Si al terminar la iteración, esta bandera está en falso entonces el arreglo está ordenado y se puede terminar.

Estructuras de datos - Dr. Sergio A. Gómez

Ordenamiento por inserción

- Es equivalente a la forma de ordenar un mazo de cartas.
- Se comienza con un mazo vacío y uno desordenado.
- Cada carta se trata de insertar en la posición correcta.
- Entonces, en un momento dado, una parte del mazo está ordenada y se trata de insertar la siguiente carta de la porción desordenada del mazo en la posición correcta.
- Terminamos cuando la porción desordenada está vacía.

Estructuras de datos - Dr. Sergio A. Gómez

8

```

public static void insertionsort( int [] a, int n ) {
    for( int i = 1; i<n; i++) {
        // Insertar a[i] en la secuencia ordenada a[0], ..., a[i-1]
        int item = a[i]; // item a insertar
        int j = i; // puntero de inserción
        boolean found = false;
        while( j>0 && !found )
            if( a[j-1] <= item ) // El item debería ser a[j]
                found = true;
            else {
                a[j] = a[j-1]; // Mover a[j-1] para arriba
                j--;
            }
        a[j] = item; // Insertar item
        // ahora a[0] <= ... <= a[i-1]
    }
}

```

$T_{insertionsort}(n) = O(n^2)$

Estructuras de datos - Dr. Sergio A. Gómez

9

Merge sort: Ordenamiento por mezcla

- **Caso recursivo:** Partir el arreglo en dos, ordenar recursivamente cada mitad y luego hacer la mezcla de cada mitad ordenada en un gran arreglo ordenado.
- **Caso base:** El arreglo tiene 0 o 1 componentes entonces está ordenado.

10

Merge sort

```

public static void mergesort( int [] a, int n)
{ msort( a, 0, n-1); }

private static void msort( int [] a, int ini, int fin)
{
    if( ini < fin ) {
        int medio = (ini + fin) / 2;
        msort(a, ini, medio );
        msort(a, medio + 1, fin);
        merge( a, ini, medio, fin );
        // merge hace la mezcla de los sub-arreglos en O(n)
    }
}

```

Estructuras de datos - Dr. Sergio A. Gómez

11

Tamaño de la entrada: n = cantidad de componentes de a

Recurrencia para n:

$$T(n) = \begin{cases} c_1 & \text{si } n = 1 \\ c_2 n + 2T(n/2) & \text{si } n > 1 \end{cases}$$

Estructuras de datos - Dr. Sergio A. Gómez

12

El uso total o parcial de este material está permitido siempre que se haga mención explícita de su fuente: "Estructuras de Datos. Notas de Clase". Sergio A. Gómez. Universidad Nacional del Sur. (c) 2013-2019

$$T(n) = c_2n + 2T(n/2) = c_2n + 2(c_2(n/2) + 2T(n/2/2))$$

$$= 2c_2n + 4T(n/4) = 2c_2n + 4(c_2(n/4) + 2T(n/4/2))$$

$$= 3c_2n + 8T(n/8) = \dots$$

$$= ic_2n + 2^i T(n/2^i)$$

Termina cuando $n/2^i = 1$, es decir $n=2^i$.
 Luego, $i = \log_2(n)$.

$T(n) = \log_2(n)c_2n + nT(1) = \log_2(n)c_2n + nc_1$ es $O(n\log_2(n))$

Estructuras de datos - Dr. Sergio A. Gómez 13

Quick sort

El quick sort trabaja como merge sort pero evita hacer la mezcla

Algoritmo quick sort:
 si la lista es no vacía entonces

- 1) dividir la lista en dos de tal manera que los ítems en la primera mitad vengan antes que los ítems en la segunda mitad
- 2) ordenar con quick sort la primera mitad
- 3) ordenar con quick sort la segunda mitad

Pregunta: ¿Cómo realizar la división en forma eficiente?

Estructuras de datos - Dr. Sergio A. Gómez 14

Supongamos que nos dan una lista de 6 números.

17 36 22 41 12 24

Pongamos 24 en su lugar reacomodando la lista de tal manera que los primeros ítems sean menores a 24 y el resto mayores.

Guardemos 24 en un lugar seguro (una variable auxiliar) y definamos dos cursores *left* y *right* que indiquen dónde estamos:

left
17
36
22
41
12
**
right

Ahora movamos *left* hacia la derecha hasta descubrir un ítem mayor a 24:

left
17
36
22
41
12
**
right

Movamos este ítem al "agujero" donde estaba el 24 originalmente:

17
**
22
41
12
36
right

Movamos *right* a la izquierda hasta encontrar un ítem menor a 24:

17
**
22
41
12
36
right

Movamos este ítem al agujero arriba de *left*:

17
12
22
41
**
36
right

Hemos progresado, *left* y *right* están más cerca, movamos *left* a la derecha hasta hallar elemento mayor a 24:

17
12
22
41
**
36
right

Estructuras de datos - Dr. Sergio A. Gómez 15

Hemos progresado, *left* y *right* están más cerca, movamos *left* a la derecha hasta hallar elemento mayor a 24:

17
12
22
41
**
36
right

Pongamos este ítem en la posición *left* sobre el marcador que indica *right*:

17
12
22
**
41
36
right

Movamos *right* a la izquierda, cuando los marcadores se encuentran en el agujero, pongamos allí al 24:

17
12
22
24
41
36
right

Ahora podemos ordenar los ítems a la izquierda de 24 y los ítems a la derecha de 24 en forma recursiva usando este mismo proceso.
 La componente donde está el 24 se llama "pivot" (o pivote en castellano).

Análisis de la Complejidad:
 Quick sort en promedio corta el arreglo por la mitad, como no hace el merge, en promedio es más eficiente que merge sort con una complejidad de $O(n\log_2(n))$.
 Sin embargo, el peor caso se da cuando se quiere ordenar un arreglo ordenado, se invoca recursivamente con una parte que mide 1 y la otra $n-1$, dando una complejidad de $O(n^2)$.

Estructuras de datos - Dr. Sergio A. Gómez 16

Heap Sort

- **Objetivo:** Ordenar un arreglo A de N enteros en forma ascendente
- **Algoritmo** HeapSort(a, n)
 - cola \leftarrow new ColaConPrioridad()
 - para $i \leftarrow 0..n-1$ hacer
 - cola.insert(a[i])
 - para $i \leftarrow 0..n-1$ hacer
 - a[i] \leftarrow cola.removeMin()
- **Complejidad:** $T_{\text{heapsort}}(n) = O(n\log_2(n))$

Resolución de Problemas y Algoritmos - Dr. Sergio A. Gómez 17

Heap sort in place

- En lugar de usar una cola con prioridades externa al arreglo a, se puede usar una porción del mismo arreglo a para implementar la cola con prioridades.

Max heap de tamaño i	Porción de tamaño n-i del arreglo no ordenada
----------------------	---

- **Paso 1:** para $i=0$ hasta $n-1$ insertar $a[i]$ en la heap
- **Paso 2:** para $i=n-1$ hasta 0 eliminar el máximo elemento de la heap y ubicarlo en $a[i]$.
- **Complejidad:** $T_{\text{heapsortinplace}}(n) = O(n\log_2(n))$

Estructuras de datos - Dr. Sergio A. Gómez 18

El uso total o parcial de este material está permitido siempre que se haga mención explícita de su fuente: "Estructuras de Datos. Notas de Clase". Sergio A. Gómez. Universidad Nacional del Sur. (c) 2013-2019