EDA (ETS de Ingeniería Informática). Curso 2016-2017

Práctica 2. Estudio experimental de la eficiencia de algunos métodos de ordenación (una sesión)

Departamento de Sistemas Informáticos y Computación. Universitat Politècnica de València

1. Objetivo de la práctica

El objetivo de esta práctica es efectuar la comparación experimental de los tiempos de ejecución de dos algoritmos rápidos de ordenación basados en la estrategia Divide y Vencerás (DyV), *Merge Sort* y *Quick Sort*, así como la contrastación del efecto que tienen las comparaciones de los elementos individuales en dicho tiempo de ejecución.

2. Introducción y planteamiento del problema

A la hora de elegir un algoritmo para la ordenación *in situ* de los datos de un array se deben de tener en cuenta, básicamente, tres aspectos:

- Su eficiencia expresada en función de la talla del problema, lo que conduce a elegir algoritmos de ordenación directa ($O(n^2)$), como Inserción Directa, cuando el número de datos a ordenar es pequeño y algoritmos rápidos ($O(nlogn)$), como *Merge Sort* o *Quick Sort*, cuando el número de datos a ordenar es muy grande.
- El número y coste efectivo de las comparaciones y movimientos de datos (intercambios o copias) que realiza. Así, dado que *Merge Sort* realiza un número de comparaciones bastante menor que *Quick Sort* pero un número de movimientos bastante mayor...
  - será preferible usar *Merge Sort* cuando el coste de comparar los datos sea notorio y, como sucede en Java, el de moverlos resulte irrelevante por no afectar a los datos sino únicamente a sus referencias (*Pointer sorting*);
  - será preferible usar *Quick Sort* cuando el coste de mover los datos sea tanto o más relevante que el de compararlos porque, como sucede en C++, dicho movimiento sí afecta directamente a los datos.
- La estabilidad (o preservación del orden inicial de los datos idénticos), característica que solo resulta irrelevante cuando la ordenación se realiza siguiendo un único criterio, como sucede con los datos de tipo primitivo. Dado que es estable y *Quick Sort* no, *Merge Sort* será preferible a la hora de ordenar objetos comparables según diversos criterios.

Este análisis permite entender la implementación ofrecida en el paquete `java.util` para los métodos de ordenación de datos de tipo primitivo (por ejemplo, `static void Arrays.sort(int[] a)`) y la de objetos `Comparable` (por ejemplo, `static void Arrays.sort(Object[] a)`): mientras que los primeros implementan *Quick Sort*, los segundos implementan *Merge Sort* con el fin de garantizar la estabilidad y favorecer las situaciones en las que el coste efectivo de las comparaciones sea importante.

En la presente práctica se implementará una versión eficiente de *Merge Sort* y se efectuará la comparación con la de *Quick Sort* realizada en clase de teoría, analizando la influencia que sobre su coste temporal puede tener el incremento del coste de la comparación de dos elementos. Para ello, y en concreto, se utilizarán arrays de dos clases del estándar de Java que implementan la interfaz `Comparable`: `Integer` y `String`. Como se recordará, los valores de tipo `Integer` se comparan entre sí en tiempo constante, mientras que para los de tipo `String` el tiempo de la comparación individual depende del número de caracteres iguales iniciales que tengan los objetos a comparar; así, inicializando adecuadamente los `String` a ordenar, se podrá comprobar cómo cambia el tiempo de ejecución de los dos algoritmos en estudio cuando crece el tiempo de ejecución de cada comparación individual.

3. Actividades

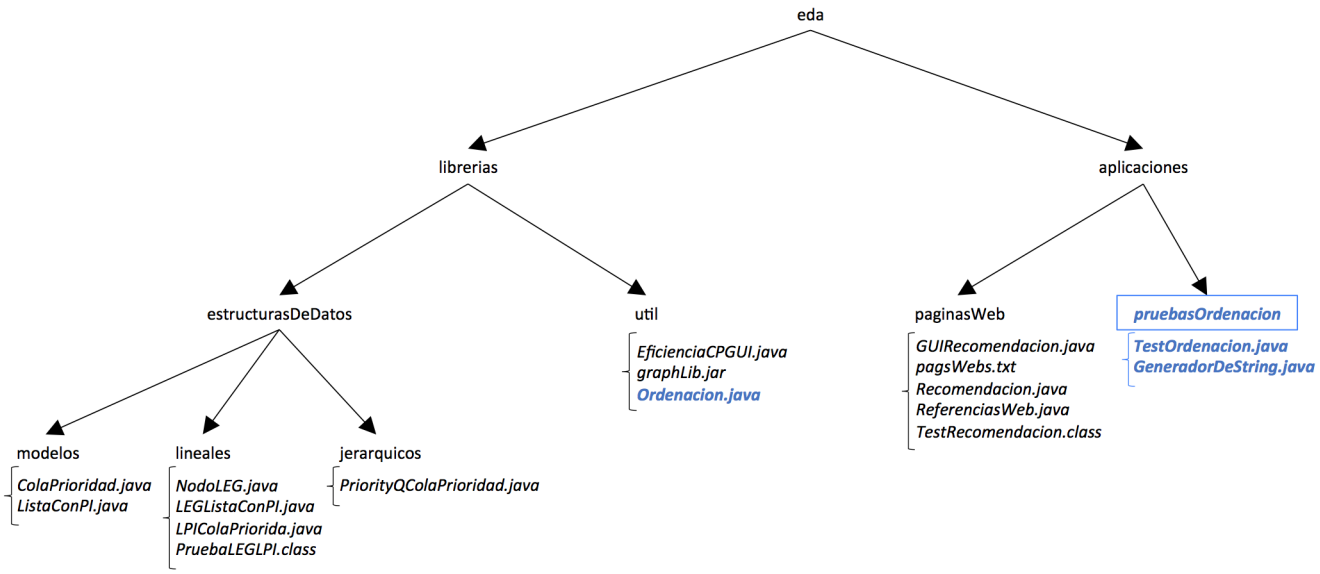
Para la realización de las distintas actividades que se describen en esta sección, existen tres clases disponibles en *PoliformaT*:

- La clase `Ordenacion`: contiene distintos métodos estáticos para ordenar arrays de datos de tipo genérico y `Comparable`, además del método auxiliar `sonIguales` que permite comprobar si los arrays que se le pasan como parámetros coinciden elemento a elemento.
  Esta clase debe ser incluida en el proyecto *Bluej eda*, dentro de un nuevo subpaquete de `librerias` denominado `util`.

- La clase `TestOrdenacion`: contiene los métodos necesarios para llevar a cabo el análisis empírico de la eficiencia de los métodos de ordenación de la clase `Ordenacion`, valga la redundancia (entre otros, los de creación de los arrays de tallas distintas sobre los que se ejecutan los métodos a analizar y el de medición/tabulación de sus tiempos promedio de ejecución sobre dichos arrays).

- La clase `GeneradorDeString`: es un generador random de objetos de tipo `String` con los primeros `n` caracteres iguales.
  Esta clase y `TestOrdenacion` deben ser incluidas en el proyecto *Bluej eda*, dentro de un nuevo subpaquete de *aplicaciones* denominado *pruebasOrdenacion*.

Se recomienda por tanto que, antes de llevar a cabo las actividades, se compruebe que la estructura de paquetes y ficheros del proyecto *BlueJ eda* sea la que muestra la siguiente figura:



3.1. Actividad A: Mejora del algoritmo *Merge Sort*

La versión del algoritmo *Merge Sort* que se proporciona en la clase `Ordenacion`, la presentada en teoría, es mejorable si en la operación de fusión o mezcla (método `merge1`) se evita copiar dos veces cada elemento del array a fusionar: los elementos fusionados se escriben en un array auxiliar `aux` (dos primeros bucles de `merge1`) y luego, cuando dicho array se ha generado, se copian de nuevo al array a ordenar (en el último bucle de `merge1`).

En esta actividad se pide añadir a la clase `Ordenacion` una nueva versión de *Merge Sort* que evita esta doble copia y, por tanto, es más eficiente que la actual. Para ello, los pasos a dar son:

I. Modificar el método de mezcla `merge1` para que devuelva como resultado el array auxiliar `aux`, con lo que tan solo se copia cada elemento una vez. Por ello, el perfil del método resultante será:

```
private static <T extends Comparable<T>> T[] merge2(T[] v1, T[] v2)
```

II. Modificar el método `mergeSort1(T[], int, int)` para que, en lugar de modificar el array original, devuelva el array resultante de la ordenación y, obviamente, para que pueda usar `merge2(T[], T[])`. El perfil del método resultante será:

```
private static <T extends Comparable<T>> T[] mergeSort2(T[] v, int i, int f)
```

Además, en el diseño de este método se deben definir dos casos base de la recursión, para evitar en lo posible la generación excesiva de arrays de un solo elemento que se produce en `merge1`: uno para arrays de talla 1 y otro para arrays de talla 2.

III. Modificar el método `mergeSort1(T[])` para que use `mergeSort2(T[], int, int)` y, al mismo tiempo, mantenga el perfil típico de un método de ordenación *in situ*; nótese que `mergeSort2(T[], int, int)` devuelve un array ordenado y el tipo del resultado de un método de ordenación *in situ* es `void`, no `T[]`. El perfil del método resultante será:

```
public static <T extends Comparable<T>> void mergeSort2(T[] v)
```

3.2. Actividad B: Validación de la nueva versión de *Merge Sort*

Antes que nada, es necesario verificar que la nueva versión de *Merge Sort* implementada, `mergeSort2(T[])`, ordena correctamente; para ello, lo más sencillo es comprobar si su resultado, ante diversas entradas, es el mismo que el conseguido por cualquier otro método que se sepa que es correcto.

En esta actividad se pide completar el diseño del método `comprobar` de la clase `TestOrdenacion` para que, haciendo uso de los métodos `sonIguales` y `quickSort` de la clase `Ordenacion`, compruebe si `mergeSort2(T[])` es, en efecto, un método correcto.

3.3. Actividad C: Comparación de los tres métodos DyV de la clase `Ordenacíon`

Para poder comparar los tres métodos DyV de la clase `Ordenacion`, primero es necesario realizar el análisis experimental de su eficiencia. En este momento el método `temporizar` de la clase `TestOrdenacion` ya realiza dicho análisis para los métodos `quickSort` y `mergeSort1`; especificamente, como se puede observar en su código, las condiciones bajo las que `temporizar` realiza las medidas del tiempo de ejecución de ambos métodos son las siguientes:

- Los arrays a ordenar contienen valores de tipo `Integer` generados aleatoriamente, como resultado de invocar al método `crearAleatorioInteger`.
- Las medidas de tiempo de ejecución se realizan para arrays de tallas (crecientes), desde 10.000 a 100.000 elementos con pasos de 10.000 en 10.000.
- Para garantizar resultados significativos, para cada talla se promedian los resultados de unas 100 ejecuciones, ordenando en cada una de ellas un array diferente.
- El reloj utilizado para medir los tiempos de ejecución es `nanoTime()`, el método estático de la clase `java.lang.System` que devuelve el valor `long` actual del temporizador más preciso empleado en el sistema en nanosegundos (aunque la resolución real suele ser menor).

Dado que el método `temporizar` también tabula los tiempos medios de ejecución de `quickSort(T[])` y `mergeSort1(T[])`, para realizar esta actividad solo hay que añadirle a dicho método las líneas de código correspondientes a la temporización de `mergesort2(T[])`; hecho esto, tras compilar y ejecutar `TestOrdenacion`, bastará con extraer las conclusiones correspondientes sobre cuál de los tres métodos analizados es el más rápido ordenando números enteros.

3.4. Actividad D: Ajuste y representación gráfica de los resultados

Se ha de utilizar `gnuplot` para ajustar (mediante el comando `fit`) y representar gráficamente los resultados y sus ajustes (mediante el comando `plot`). Si es necesario, se puede consultar el documento "Resumen de gnuplot" disponible en *PoliformaT*, que contiene los comandos más habituales de `gnuplot` así como un ejemplo de una sesión con su uso.

3.5. Actividad E: Comparación de los tres métodos DyV de la clase `Ordenacíon` cuando crece el coste de la comparación individual

Para la realización de esta actividad se debe usar la clase `GeneradorDeString` que, como ya se ha comentado, permite generar objetos de tipo `String` con sus primeros `n` caracteres iguales. Por ejemplo, si se quieren generar dos `String` con sus `30` primeros caracteres iguales con ayuda de esta clase, las instrucciones a emplear son:

```
// Construir un objeto GeneradorDeString con sus 30 primeros caracteres iguales:
GeneradorDeString g = new GeneradorDeString(30);
String ejem1 = g.generar();
String ejem2 = g.generar();
// ejem1 y ejem2 tienen iguales sus 30 primeros caracteres
```

Utilizando este ejemplo, repítase la temporización de los tres métodos DyV de la clase `Ordenacion` que se efectuó en la Actividad C, si bien en este caso para arrays de tipo `String` con los `30` primeros caracteres iguales. A continuación, ajústense y grafíquense los resultados obtenidos; finalmente, extráiganse las conclusiones correspondientes sobre cuál de los tres métodos analizados es el más rápido en este caso y por qué.

4. Otras actividades

Si se desea, resultaría de interés resolver alguna de las siguientes actividades para continuar analizando los problemas planteados en esta práctica.

- Repítase la última temporización realizada pero usando ahora arrays de tipo `String` que tengan, respectivamente, sus primeros `5` y `50` caracteres iguales. Interprétense los resultados obtenidos.
- Repítanse los estudios de coste realizados añadiendo en una última columna los resultados obtenidos usando el método `sort` de la clase `java.util.Arrays`.