Estudio de la eficiencia del algoritmo de la burbuja en C++

Noelia Escalera Mejías

1. Resumen

URL del repositorio: `https://github.com/Arelaxe/proyecto_final`

Para el proyecto final del curso de LaTeX y Git, he decidido hacer un estudio sobre la eficiencia del algoritmo de la burbuja, de forma tanto teórica como empírica.

2. Palabras clave

- **Algoritmo:** Conjunto finito de pasos que nos llevan a resolver un problema.
- **Implementación:** Realización de un algoritmo en un lenguaje de programción determinado.
- **Eficiencia:** Capacidad de lograr resolver un algoritmo con el mínimo de recursos posibles o en el menor tiempo posible.
- **C++:** Lenguaje de programación diseñado en 1979 por Bjarne Stroupstrup, con la intención de extender al lenguaje de programación C mecanismos que permiten la manipulación de objetos.
- **Bash:** Programa informático, cuya función consiste en interpretar órdenes, y un lenguaje de consola.
- **Gnuplot:** Programa para generar gráficas de funciones y datos.
- **Algoritmo de la Burbuja** *(Bubble Sort):* Sencillo algoritmo de ordenación. Funciona revisando cada elemento de la lista que va a ser ordenada con el siguiente, intercambiándolos de posición si están en el orden equivocado.

3. Introducción

El algoritmo de la burbuja es uno de los primeros algoritmos de ordenación que se aprenden a programar debido a la sencillez de su implementación. Sin embargo, ¿es eficiente? Esto es lo que vamos a comprobar en el presente informe. El lenguaje de programación en el que se trabajará será C++11.

4. Estado del arte

La eficiencia teórica del algoritmo de la burbuja está ya bastante estudiada, debido a que es un algoritmo bastante conocido. Para estudiarla hemos usado las principales reglas para medir la eficiencia de bucles: sumatorios y reglas de progresiones aritméticas, así como la notación O.

5. Eficiencia teórica

Hay varias formas de implementar el algoritmo de la burbuja. Nosotros usaremos la más sencilla:

```
void ordenar(int *v, int n) {
 for (int i=0; i<n-1; i++)
  for (int j=0; j<n-i-1; j++)
   if (v[j]>v[j+1]) {
    int aux = v[j];
    v[j] = v[j+1];
    v[j+1] = aux;
   }
}
```

La eficiencia teórica sería la siguiente:

-Bucle for: Se ejecuta n-1 veces

- **Línea 2:** 4 operaciones, Asignación ($i = 0$), Resta ($n - 1$), Comparación ($i < n - 1$) e Incremento ($i + +$). 3 operaciones se ejecutan a la vez y otras tres se ejecutan n veces.

-Bucle for (dentro del for anterior: Se ejecuta n-i-1 veces, es una progresión aritmética)

- **Línea 3:** 5 operaciones. Asignación ($j = 0$), Resta ($n - i, (n - i) - 1$), Comparación ($j < n - i - 1$) e Incremento ($j + +$). 4 operaciones se ejecutan una vez y otras 4 se ejecutan n veces.

-If (dentro del for anterior): Se ejecuta siempre, ya que estamos en el peor de los casos

- **Línea 4:** 4 operaciones, Acceso a vectores $(v[j], v[j+1])$, Suma $(j+1)$, Comparación $(v[j] > v[j+1])$.
- **Línea 5:** 2 operaciones, Acceso a vector $(v[j])$, Asignación $(aux = v[j])$.
- **Línea 6:** 4 operaciones, Acceso a vectores $(v[j], v[j+1])$, Asignación $(v[j] = v[j+1])$, Suma $(j+1)$.
- **Línea 7:** 3 operaciones, Acceso a vector $(v[j+1])$, Suma $(j+1)$, Asignación $(v[j+1] = aux)$.

Por tanto, el tiempo en el peor de los casos sería:

$$3+\sum_{i=0}^{n+1}(3+4+\sum_{j=0}^{n-i-1}(4+4+2+4+3)) = 3+3+\sum_{i=0}^{n-1}(7+17(n-i-1)) =$$

$$= 3+(n-1)\frac{7+17(n-n+3-1)+7+17(n+1)}{2} = 3+(n+1)\frac{7+17+2+7+17n+17}{2} =$$

$$= 3+(n-1)\frac{17n+65}{2} = 3+\frac{17n^2+65n-17n-65}{2} = \frac{17n^2+48n-59}{2}$$

Luego podemos decir que tenemos una eficiencia de $O(n^2)$.

6. Eficiencia empírica

Para calcular la eficiencia empírica hemos usado los siguientes ficheros fuente:

```
#include <iostream>
#include <ctime> // Recursos para medir tiempos
#include <cstdlib> // Para generacion de  numeros
    pseudoaleatorios

using namespace std;

void ordenar(int *v, int n) {
 for (int i=0; i<n-1; i++)
  for (int j=0; j<n-i-1; j++)
   if (v[j]>v[j+1]) {
    int aux = v[j];
    v[j] = v[j+1];
    v[j+1] = aux;
   }
}

void sintaxis()
{
 cerr << "Sintaxis:" << endl;
 cerr << " TAM: Tam del vector (>0)" << endl;
```

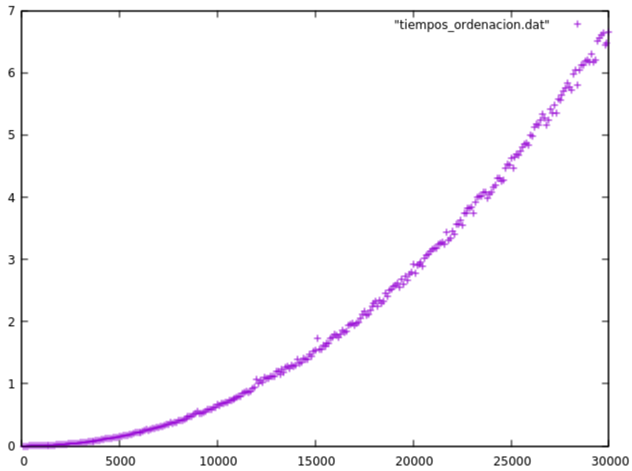
```
 cerr << " VMAX: Valor max (>0)" << endl;
 cerr << "Se genera un vector de tam TAM con elementos 
     aleatorios en [0,VMAX[" << endl;
 exit(EXIT_FAILURE);
}

int main(int argc, char * argv[])
{
 // Lectura de parametros
 if (argc!=3)
  sintaxis();
 int tam=atoi(argv[1]); // Tam del vector
 int vmax=atoi(argv[2]); // Valor max
 if (tam<=0 || vmax<=0)
  sintaxis();

 // Generacion del vector aleatorio
 int *v=new int[tam]; // Reserva de memoria
 srand(time(0)); // Inicializacion del generador de nums
     pseudoaleatorios
 for (int i=0; i<tam; i++) // Recorrer   vector
  v[i] = rand() %vmax; // Generar aleatorio [0,vmax[
 clock_t tini; // Anotamos el tiempo de inicio
 tini=clock();
 int x = vmax+1;
 ordenar(v,tam);
 clock_t tfin; // Anotamos el tiempo de finalizacion
 tfin=clock();
 // Mostramos resultados
 cout << tam << "\t" << (tfin-tini)/(double)CLOCKS_PER_SEC <<
     endl;
 delete [] v; // Liberamos memoria dinamica
}
```

```
#!/bin/csh
@ inicio = 100
@ fin = 30000
@ incremento = 100
set ejecutable = ordenacion
set salida = tiempos_ordenacion.dat
@ i = $inicio
echo > $salida
while ( $i <= $fin )
echo Ejecucion tam = $i
echo `./{$ejecutable} $i 10000` >> $salida
@ i += $incremento
end
```

Hemos compilado el programa ordenacion.cpp de la siguiente manera:

g++ ordenacion.cpp -o ordenacion

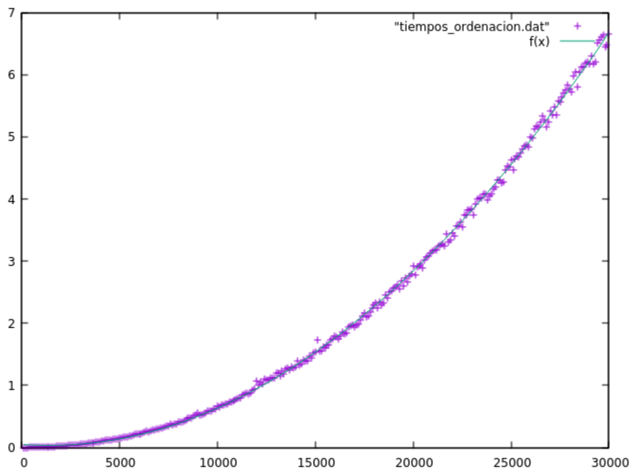
Tras ejecutar el script ejecucuiones_ordenacion.csh:



A continuación, vamos a obtener el ajuste de regresión para el algoritmo anterior. Para realizar este ajuste, supondremos que $f(x) = ax^2 + bx + c$ es la función a la que queremos ajustar nuestros tiempos. Según gnuplot, los valores más adecuados para a, b y c son:

a=8.11499e-09
b=-1.26893e-05
c=0.0486703

Si dibujamos superpuestas f(x) y la función tiempos_ordenacion.dat, nos queda lo siguiente:



Referencias

[1] A.G. Carrillo and J. Fernández-Valdivia. *Abstracción y estructuras de datos en C++*. Delta, 2006.

[2] F.L. Friedman and E.B. Koffman. *Problem Solving, Abstraction, and Design using C++*. Pearson Education, 2011.

[3] E.B. Koffman and P.A.T. Wolfgang. *Objects, abstraction, data structures and design using C++*. John Wiley & Sons, Inc., 2006.