Instituto Superior Manuel Teixeira Gomes

Licenciatura de Engenharia Informática, 2º Semestre

Algoritmia

Prof. Doutor António dos Anjos

Trabalho Prático de Avaliação nº 1

Trabalho elaborado por:

Carlos Manuel Pacheco Soares, Nº 21103408

Índice

INTRODUÇÃO:

No âmbito da disciplina de Algoritmia foi proposto a implementação de um algoritmo de ordenação de valores inteiros não decrescentes. Este poderia ser criado por mim ou utilizar um já existente. Tem como objetivo ordenar *arrays* com grandes dimensões o mais rápido possível. Para tal é pedido a criação de um programa com, pelo menos, três funções: uma que gera o *array* com valores aleatórios, outra com o algoritmo de ordenação e, por fim, uma que irá validar se o algoritmo está ordenado.

Para este problema criei um algoritmo, o qual irá procurar a distribuição dos dados e, posteriormente, colocá-los na respectiva ordem. Mais tarde, encontrei um outro algoritmo, *"Counting Sort"*, e, dada a semelhança, denominei o meu de *"Soares Counting Sort"*, visto que existe também um *"Tim Sort"*.

Os ficheiros utilizados neste projecto encontram anexados.

O PROBLEMA:

Existem várias razões para se ordenar uma sequência de um tipo de dados. Uma delas seria para lhes poder aceder de forma mais fácil e rápida. Isto numa situação de análise ou para tomar uma decisão de negócio pode ser crucial. O problema é quando a quantidade de dados é demasiada para se ordenar manualmente.

Para o resolver começaram a surgir diversos algoritmos para podermos utilizar os computadores em nosso favor. Isso funciona geralmente muito bem para situações em que temos poucos dados. Mas qual será a situação se tivermos por exemplo cem milhões de dados diferentes?

Nesta situação, como na maioria delas, já irá contar muito a rapidez do algoritmo utilizado, pois se tivermos à espera da ordenação de dados que irão ser utilizados para uma decisão de negócios e se esta ordenação demorar, por exemplo, um ano, provavelmente, não irá servir de muito.

No entanto, existem diferentes tipos de dados a ordenar e de diferentes formas, cada uma com um intuito diferente. Mas não irei explora-los a todos. Somente uma situação relativamente simples que foi o proposto, ou seja, a ordenação de grandes números de dados numéricos. Estes dados são números inteiros, os quais sabemos à partida o valor máximo e o valor mínimo.

Na criação do algoritmo, para o problema proposto, tentei melhorar melhora-lo de forma otimizá-lo o máximo possível para estas condições específicas.

O ALGORITMO:

O algoritmo que eu criei e mantive como escolha para este problema é muito eficiente. Com eficiente quero dizer que é rápido, tem uma boa gestão de recursos e tem resultados corretos. Para além disso, é muito fácil de explicar, entender e implementar, o que o torna uma excelente opção de utilização. No entanto, como em qualquer situação este algoritmo também tem contrapartidas.

Para começar só ordena números inteiros, o que neste projecto é o suficiente, todavia, para outro tipo de dados, o algoritmo ou teria de ser alterado ou então nem servia. Isto, no entanto, coloca-o em vantagem com alguns, como é o caso do *Counting Sort*, que só consegue ordenar números inteiros positivos. É necessário que seja conhecido o valor mínimo e o máximo dos itens, contudo, isso é um problema que é facilmente resolvido. Com um algoritmo auxiliar de busca, o qual retorna o valor mais alto e o mais baixo. Por fim, poderá para algumas situações, ocupar muito a memória do computador, porém, esse tipo de análise não será aprofundada para este trabalho, visto que não é pedido para o mesmo.

No entanto, poderei dizer, relativamente à análise da utilização de memória, que por usar *arrays* de comprimentos 'n' e 'k + 1', em que 'n' é o número de elementos diferentes a ordenar e 'k + 1' ´é o número diferente de elementos que poderão ser necessários para a ordenação, pois 'k +1' é igual ao número de diferentes valores possíveis entre o intervalo limitado pelo máximo e o mínimo. Assim, a memória que o algoritmo irá utilizar será $\Theta(n + k)$. Conclui-se que a utilização da memória será bastante eficiente se 'k' for pequeno.

Para poder prosseguir a análise do algoritmo terei, primeiramente, de o explicar. O algoritmo irá criar um *array* auxiliar que tem um número diferentes de itens que correspondem à quantidade de elementos possíveis entre o mínimo e o máximo, inclusivé. Neste *array* cada item corresponde a um valor e será utilizado para contar o número de ocorrências de cada; cada vez que aparecer no *array* para ordenar um valor, o item correspondente no *array* auxiliar é incrementado. De

seguida, como queremos ordenar os valores de ordem não decrescente, sendo que o primeiro valor do *array* auxiliar corresponde ao mínimo e o último ao máximo, é só coloca-los por ordem e pelo número de ocorrências, ou seja, se um dado valor aparecer duas vezes e for o terceiro mais baixo é colocado a seguir do último valor, segundo mais baixo, duas vezes. Repete-se este processo até se ter colocado, por fim, o valor máximo as vezes que ela ocorre.

Em pseudocódigo, o algoritmo representa-se da seguinte forma:

```
SoaresCountingSort (Array, n, max, min){
    Array[[1 ... n] //É introduzido pelos argumentos (Colocado aqui somente para facilitar a compreensão do algoritmo).
    ArrContador[1 ... (max – min + 1)] //É um array auxiliar (Contador), elementos inicializados a zero.
    for i ⟵ 1 to (max – min + 1)
        do ArrContador[i] ⟵ 0
    for i ⟵ 1 to n
        do ArrContador[Array[i] – min + 1] ⟵ ArrContador[Array[i] – min + 1] + 1
    j ⟵ 1
    for i ⟵ 1 to n
        do if (ArrContador[j] > 0)
            do  Array[i] ⟵ j + min – 1
                ArrayContador[j] ⟵ ArrayContador[j] – 1
           else
            do  j ⟵ j + 1
                i ⟵ i – 1
}
```

A análise assintótica do algoritmo torna-se extremamente fácil, temos três ciclos de que dois são obviamente de tamanha 'n' e 'k'. O terceiro é de tamanho 'n + k - 1', no pior caso, caso tenha de passar pelos elementos auxiliares todos. Isto acontece se por exemplo temos um *array* de 'n' elementos iguais ao valor máximo. Mas se só existe um elemento e se este for o valor mais baixo possível, repetido 'n+1' vezes, o ciclo será de tamanho 'n', que será o melhor caso.

Então para o pior caso:

$$C_1(k+1) + C_2k + C_3(n+1) + C_4n + C_5 + C_6(n+k-1+1) + C_7(n+k-1) + C_8n + C_9n + C_{10}(n+k-1) + C_{11}(k-1) + C_{12}(k-1) \Longrightarrow C_1(k+1) + C_2k + C_3(n+1) + C_4n + C_5 + C_6(n+k) + C_7(n+k-1) + C_8n + C_9n + C_{10}(n+k-1) + C_{11}(k-1) + C_{12}(k-1) \Longrightarrow (C_3 + C_4 + C_6 + C_7 + C_8 + C_9 + C_{10})n + (C_1 + C_2 + C_6 + C_7 + C_{10} + C_{11} + C_{12})k + (C_1 + C_3 + C_5) - (C_7 + C_{10} + C_{11} + C_{12}) \Longrightarrow a_1n + a_2k + a_3 \Longrightarrow n + k \Longrightarrow \Theta(n+k)$$

Para o melhor caso a análise assintótica será muito semelhante:

$$C_1(k+1) + C_2k + C_3(n+1) + C_4n + C_5 + C_6(n+1) + C_7n + C_8n + C_9n + C_{10}n \Longrightarrow (C_3 + C_4 + C_6 + C_7 + C_8 + C_9 + C_{10})n + (C_1 + C_2)k + (C_1 + C_3 + C_6) \Longrightarrow a_1n + a_2k + a_3 \Longrightarrow n + k \Longrightarrow \Theta(n+k)$$

Como o melhor e o pior caso são iguais, não será necessário calcular o caso intermédio que será igual.

Em suma, sabemos que o algoritmo que criei tem para a análise de memória como para a análise assintótica, no pior, melhor e no caso intermédio $\Theta(n+k)$.

O PROGRAMA:

Para a implementação do algoritmo, criei um programa com quatro funções, as três essências para o trabalho e um para auxiliar o controle dos parâmetros. Irei explicar as funções de forma simples e breve.

- int isnum(char * str)
  Controla se a *string* introduzida é um número inteiro, devolve um inteiro '1' se for verdade e '0' se falso. É a função auxiliar do controle de parâmetros.

- int * genArray(int n, int min, int max)
  Gera um *array* de 'n' valores de 'min' a 'max', devolve o apontador para o *array* gerado.

- void SoaresCountingSort(int * A, int n, int min, int max)
  Ordena o *array* de inteiros 'A', com 'n' elementos com valores de 'min' a 'max' de forma não decrescente.

- int ControlSort(int * A, int n)
  Verifica se o *array* de inteiros 'A', com 'n' elementos está ordenado de forma não decrescente. Devolve um inteiro '1' se tiver ordenado e '0' caso contrário.

Para além destas funções, ainda coloquei algumas verificações para que os parâmetros introduzidos aceites fizessem sentido e para seguir a limitação proposta pelo professor, de que para um *array* de 'n' valores pode ter um valor máximo de 'n' e um valor mínimo de '-n'.

Relativamente às livrarias utilizadas utilizei, somente, três das livrarias *standart*, o "stdio.h", o "stdlib.h" e o "time.h".

OTIMIZAÇÃO DO PROGRAMA:

O objetivo é criar um programa que ordenasse um *array* o mais rápido possível a otimização do programa que é também extremamente importante. Para tal, baseei-me no autor Paul Hsieh (http://www.azillionmonkeys.com/qed/optimize.html), que constata que substituir ciclos "for" por "do while's", incrementações por decrementações (porque devida arquitetura de alguns computadores isto se torna mais rápido enquanto no outros pouco importa), "if else" por um simples "if", diversas variáveis auxiliares por uma global e algumas outras técnicas farão grande diferença na rapidez de execução de um programa.

Sabendo isso, para a otimização criei primeiro uma condição que é a seguinte: se o máximo for igual ao mínimo ou se só houver um elemento no *array*, o mesmo está ordenado. Isto por razões óbvias. De seguida, substituí todos os ciclos que tinha, que por facilidade e hábito de utilização eram ciclos "for" a incrementar por "do while's" a decrementar. Por fim, declarei uma variável 'i' global e retirei uma variável auxiliar a cada função.

Isto tudo aumentou em muito a rapidez do programa. Não irei aprofundar as razões implícitas nas substituições referentes à otimização, por considerar que isso já se torna um pouco fora do contexto do trabalho.

SOARES COUNTING SORT VS. QUICK SORT:

Por ter sido convictamente confrontado por vários colegas que constatavam que o famoso Quick Sort é o algoritmo de ordenação mais rápido de todos decidiu compara-lo com o meu. Para tal, irei fazer 5 réplicas de cada uma para valores diferentes de 'n', com o máximo igual a 10 e o mínimo igual a -10, isto para poder começar com 'n' igual a 10. Para este teste irei utilizar a função que pedi ao meu colega Isac Pimpao por confiar nele e achar que ele tenha feito uma boa implementação do Quick Sort.

Os testes foram feitos no meu portátil, um ACER ASPIRE 5741G, com o Windows 7 Home Premium 64 Bits (SP1), no MinGW Shell. As características principais do computador são as seguintes:

- Intel® Core™ i5 CPU M430 (2.27GHz, 3MB L3 cache);
- NVIDIA® GeForce® GT 320M CUDA™ - 1GB (2747 MB TurboCache™);
- 4 GB DDR3 Memory;
- 640GB.

Os resultados foram os seguintes (apesar de sabermos que com um 'k' muito pequeno terei uma grande vantagem, relativamente ao Quick Sort, por ter feito mais testes com 'k's maiores considerei os seguintes resultados relevantes):

N:	Soares Counting Sort:					Quick Sort:				
10	0.050s	0.049s	0.045s	0.051s	0.045s	0.047s	0.050s	0.051s	0.046s	0.047s
	Média = 0.0480s					Média = 0.0482s				
100	0.046s	0.045s	0.044s	0.043s	0.043s	0.047s	0.050s	0.055s	0.049s	0.043s
	Média = 0.0442s					Média = 0.0488s				
1.000	0.043s	0.043s	0.048s	0.044s	0.044s	0.048s	0.044s	0.047s	0.045s	0.045s
	Média = 0.0444s					Média = 0.0458s				
10.000	0.048s	0.049s	0.042s	0.046s	0.053s	0.049s	0.043s	0.045s	0.052s	0.044s
	Média = 0.0476s					Média = 0.0466s				
100.000	0.051s	0.050s	0.049s	0.049s	0.050s	0.058s	0.058s	0.062s	0.064s	0.059s
	Média = 0.0498s					Média = 0.0602s				
1000.000	0.097s	0.097s	0.092s	0.101s	0.089s	0.207s	0.195s	0.199s	0.208s	0.197s
	Média = 0.0952s					Média = 0.2012s				
10.000.000	0.490s	0.498s	0.494s	0.498s	0.493s	1.753s	1.773s	1.758s	1.749s	1.744s
	Média = 0.4946s					Média = 1.7554s				
100.000.000	4.602s	4.505s	4.515s	4.584s	4.579s	18.789s	18.920s	18.764s	18.747s	18.894s
	Média = 4.557s					Média = 18.8228s				

Podemos concluir, assim, que o algoritmo que criei é mais rápido que o Quick Sort para a grande maioria dos casos e como o mesmo é considerado um dos algoritmos mais rápidos existentes até hoje, o Soares Counting Sort também fará parte desse grupo.

Ainda para poder demonstrar a diferença obtida a partir da otimização do programa utilizando o mesmo algoritmo. Irei comparar, nas mesmas condições, o meu programa sem as substituições para a otimização com a versão final (com as substituições para a otimização).

N:	Depois					Antes:				
10	0.050s	0.049s	0.045s	0.051s	0.045s	0.049s	0.051s	0.046s	0.049s	0.048s
	Média = 0.0480s					Média = 0.0486s				
100	0.046s	0.045s	0.044s	0.043s	0.043s	0.046s	0.050s	0.051s	0.049s	0.047s
	Média = 0.0442s					Média = 0.0486s				
1.000	0.043s	0.043s	0.048s	0.044s	0.044s	0.048s	0.051s	0.046s	0.043s	0.045s
	Média = 0.0444s					Média = 0.0466s				
10.000	0.048s	0.049s	0.042s	0.046s	0.053s	0.049s	0.046s	0.054s	0.047s	0.048s
	Média = 0.0476s					Média = 0.0488s				
100.000	0.051s	0.050s	0.049s	0.049s	0.050s	0.053s	0.055s	0.050s	0.055s	0.051s
	Média = 0.0498s					Média = 0.0528s				
1000.000	0.097s	0.097s	0.092s	0.101s	0.089s	0.089s	0.089s	0.096s	0.093s	0.090s
	Média = 0.0952s					Média = 0.0914s				
10.000.000	0.490s	0.498s	0.494s	0.498s	0.493s	0.511s	0.513s	0.511s	0.508s	0.515s
	Média = 0.4946s					Média = 0.5116s				
100.000.000	4.602s	4.505s	4.515s	4.584s	4.579s	4.591s	4.586s	4.574s	4.650s	4.673s
	Média = 4.557s					Média = 4.6148s				

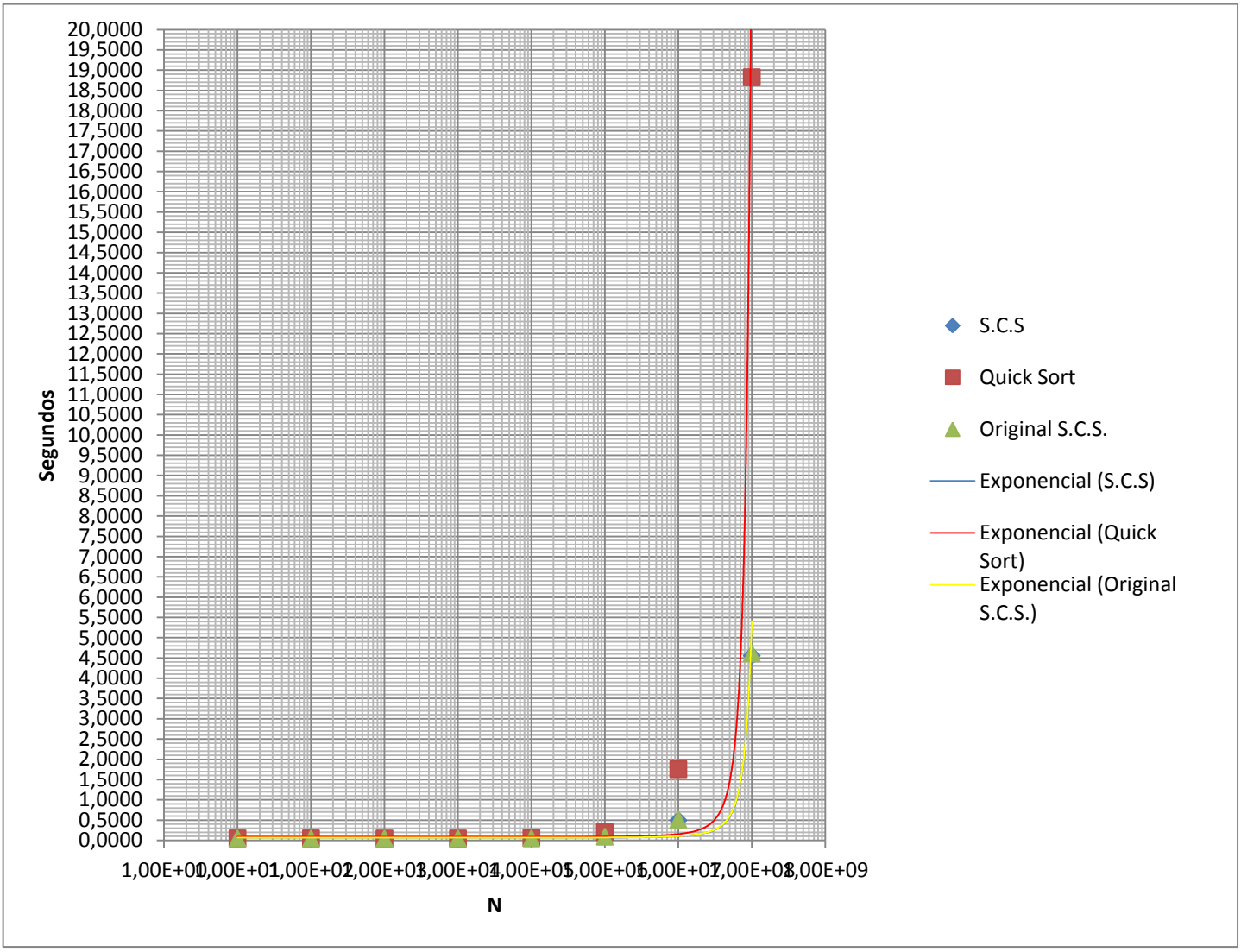
O gráfico que demonstra resumidamente os resultados dos testes anteriores encontra-se anexado (Anexo A). Em que se vê claramente a diferença que o Soares Counting Sort tem, em termos de velocidade de ordenação, com Quick Sort.

CONCLUSÃO:

Durante a execução do presente trabalho considerei que ultrapassei facilmente as dificuldades que foram surgindo. A elaboração do mesmo proporcionou uma noção mais aprofundada acerca da criação, análise e comparação de Algoritmos, mais especificamente os de ordenação.

Em última análise, achei que o presente trabalho contribuiu para a consolidação dos nossos conhecimentos adquiridos em aula, considerando-o, deste modo, uma mais-valia.

ANEXO A:


Segundos
N
S.C.S
Quick Sort
Original S.C.S.
Exponencial (S.C.S)
Exponencial (Quick Sort)
Exponencial (Original S.C.S.)