Atividade 2 de desenvolvimento de código otimizado

Allan Garcia Cavalcante e Silva, 13731222
Eduarda Fritzen Neumann, 12556973
Lucas Eduardo Gulka Pulcinelli, 12547336
Teo Sobrino Alves, 12557192

Outubro de 2023

1 Descrição da atividade

Foram implementados três algoritmos de ordenação: shell sort com $\Theta(n) = n(\ln n)^2$, heap sort com com $\Theta(n) = n \ln n$ e quicksort com com $\Theta(n) = n \ln n$. Cada ordenação foi executada 10 vezes. A cada repetição, o vetor a ser ordenado era preenchido com inteiros aleatórios e ao final da ordenação a cache era limpa com o uso da função disponibilizada `clean_cache`.

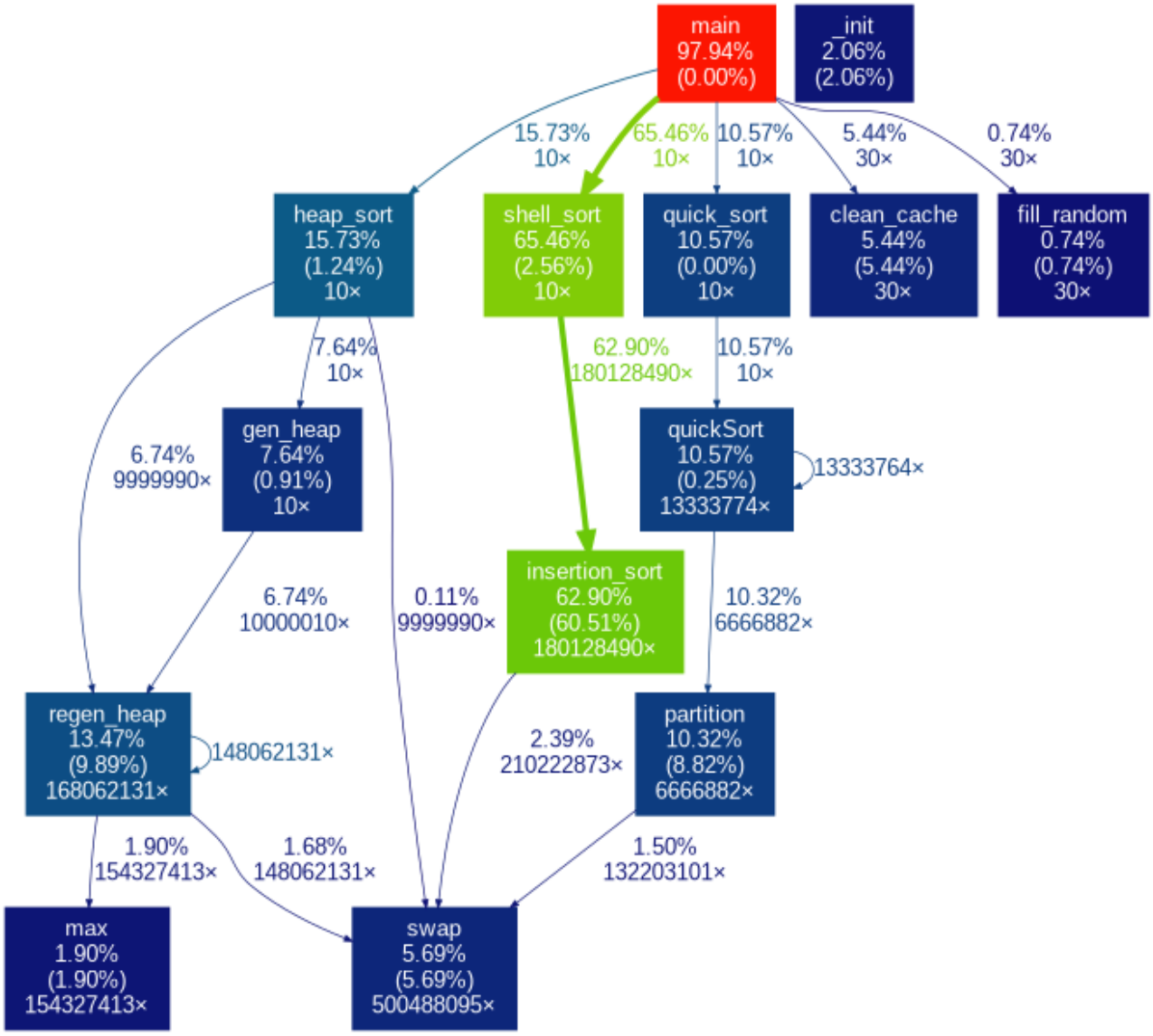
```c
#define REPEATS 10
#define ARRSIZE 1000000

void fill_random(int *a, int len) {
  for (int i = 0; i < len; i++) {
    a[i] = rand();
  }
}

int main(int argc, char **argv) {
  srand(time(NULL));

  int *a = malloc(sizeof(int) * ARRSIZE);

  for (int i = 0; i < REPEATS; i++) {
    fill_random(a, ARRSIZE);
    heap_sort(a, ARRSIZE);
    clean_cache();
  }

  for (int i = 0; i < REPEATS; i++) {
    fill_random(a, ARRSIZE);
    quick_sort(a, ARRSIZE);
```

```
    clean_cache();
  }

  for (int i = 0; i < REPEATS; i++) {
    fill_random(a, ARRSIZE);
    shell_sort(a, ARRSIZE);
    clean_cache();
  }

  free(a);
}
```

Com o código compilado no arquivo executável `main`, utilizando a ferramenta `gprof` e a bilbioteca python `gprof2dot`, o programa foi executado para gerar o arquivo `output.txt`, onde estão os dados do profilling feito pela ferramenta, e, a partir desse, gerar o arquivo DOT, usado para desenhar o grafo da execução do programa, contendo a porcentagem do tempo de execução de cada função.

```
gprof ./main gmon.out > output.txt
gprof2dot output.txt > output.dot
dot -Tpng -o graph.png output.dot
```

2 Resultados



3 Análise

A maior parte do tempo de execução foi para os algoritmos de ordenação, correspondente à 91.76% do tempo total.

Dentre os algoritmos de ordenação usados, temos 3 algoritmos com complexidade média esperada de $O(n \cdot log(n))$. Como vemos, o shell sort consumiu o maior tempo de execução, dentro da sub-rotina de insertion sort, isso ocorreu pois é difícil estabelecer a complexidade média real do shell sort, sendo necessária uma análise cuidadosa do gap utilizado [1], por este motivo não é fácil criar técnicas que garantam a complexidade com grande probabilidade, como no caso do uso da mediana de três para a escolha do pivô do quicksort, (Cormen et al., 1994), que garante uma complexidade média de $O(n \cdot log(n))$.

O quicksort obteve um resultado melhor que o heap sort, de forma não surpeendente, pois no quicksort são utilizados ponteiros que se cruzam; Os dados acessados estão sempre sequenciais na memória, contribuindo para a localidade da cache, enquanto no heap sort pode haver, em uma determinada iteração, em um mesmo sub-vetor, dois dados que estão muito distantes na memória, além disso os loops internos do quicksort são menores, o que reflete um tempo menor de execução das sub-rotinas, como fica explicíto na comparação com as sub-rotinas do heap sort. Vale dizer também que o quicksort utiliza um espaço de memória com tamamho da ordem de $O(log(n))$ de forma implícita na pilha, no momento da recursão e é instável.

4 Conclusão

Podemos concluir que o algoritmo quicksort apresentou melhor tempo de execução, devido à suas características de um melhor uso de localidade de cache, um espaço adicional de memória e ser um algoritmo instável, o heap sort fica em segundo lugar, sendo ele, verdadeiramente um sort in-place (sem uso de espaço auxiliar), e o shell sort fica em terceiro lugar, por usar uma sub-rotina com complexidade da ordem de $O(n^2)$, mesmo que com uma execução que tenda para o melhor caso $O(n)$ pelo uso de gaps iniciais grandes (que, mesmo com complexidade mais alta, terão um n pequeno).

References

Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., and Stein, C. (1994). *Introduction to algorithms*, volume 1. MIT press Cambridge, MA, USA.

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Shellsort