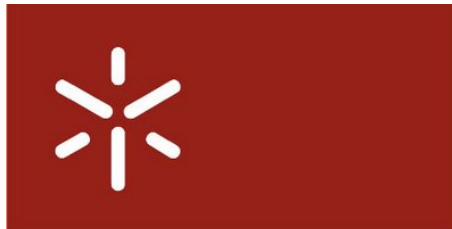

Engenharia de Sistemas de Computação

Heap Sort



Universidade do Minho

António Sérgio Alves Costa A78296
José Pedro Moreira Resende A77486

10 de Junho de 2019

Conteúdo

1	Introdução	2
2	Algoritmo: Heapsort	2
2.1	Sequencial	2
2.2	Paralelo	2
2.2.1	Com Locks	2
2.2.2	Sem Locks	2
3	Apresentação Resultados	3
3.1	Locks	3
3.2	Sem Locks	3
3.3	FlameGraph	3
3.3.1	Sequencial	3
3.3.2	Com Locks	4
3.3.3	Sem Locks	4
4	Análise dos Resultados	4
5	Conclusão	4

1 Introdução

Algoritmos de ordenação são usados para reorganizar e ordenar uma dada lista ou array de acordo com parâmetros fornecidos por um comparador de elementos.

Existem vários algoritmos de ordenação com diferentes perfis de execução e memória, neste artigo vamos falar em específico do heapsort, da sua paralelização e da sua caracterização.

O heapsort é um algoritmo de ordenação da família dos algoritmos de ordenação por seleção.

Este algoritmo usa uma estrutura de dados heap para os ordenar a medida que os insere de forma a tornar a ordenação estável.

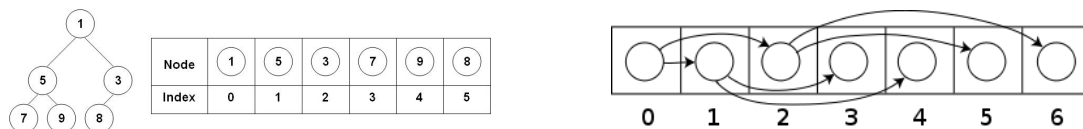
O seu tempo de execução sobre conjuntos ordenados aleatoriamente é muito bom, tem um uso de memória bem comportado e o seu desempenho em pior caso é praticamente igual ao desempenho em caso médio.

2 Algoritmo: Heapsort

2.1 Sequencial

Nesta implementação do algoritmo heap sort sequencial utilizamos o código disponibilizado no enunciado.

O funcionamento deste algoritmo consiste em duas fases. Primeiramente é construído uma heap a partir do array que nos é dado, em segundo é construído o array ordenado retirando o maior número (root atual) e inserindo no array ordenado. A heap é então atualizada de forma a manter os invariantes deste tipo de estrutura e eleger um novo root.



Este array ordenado é na verdade feito no mesmo array da heap e simplesmente é alterado os limites final da heap, reaproveitando a memória, sem ser necessário alocar um novo array para guardar o resultado final.

2.2 Paralelo

2.2.1 Com Locks

Com o intuito de paralelizar e acelerar este algoritmo depois de alguma pesquisa e experimentação chegamos a uma implementação na qual dividimos o array em várias heaps mais pequenas de tamanho constante (sempre que possível).

Assim, utilizamos o simples algoritmo sequencial mas com ajuda de locks e de threads paralelizamos o algoritmo. Basicamente, em vez de termos apenas um fio de execução, iremos ter N fios de execução.

Todavia esta solução trouxe-nos bastantes problemas visto que havia data race, e nem sempre a ordem pelo que os siftDowns eram feitos, eram os corretos, acabando assim por se construir um array ordenado diferente do correto.

Para resolver este problema, decidiu-se utilizar locks para termos a certeza que nenhuma thread estava a mexer em algo ao mesmo tempo que outra, e, para além disto, utilizamos schedule static para garantir que a ordem pela qual os siftDowns eram feitos, era a correta, gerando assim o array ordenado correto.

2.2.2 Sem Locks

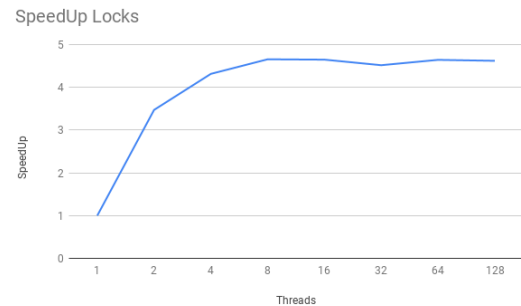
Após concluirmos a versão anterior, percebemos que os locks e o schedule static poderiam influenciar a performance do algoritmo e decidimos tentar criar um algoritmo de paralelização que não utilizasse estas "ferramentas".

Assim tanto as heaps como os arrays ordenados associados a cada uma destas estruturas podem ser calculados e ordenados de forma independente e paralela.

Utilizamos aqui o scheduler dinâmico do omp de forma a distribuir melhor a carga de trabalho entre as threads.

Para este trabalho foi usado uma heurística de redução em árvore o que torna todo o processo de merge extremamente eficiente e possível de executar de forma paralela, uma vez que temos blocos sem dependências entre si, tirando partido também de um scheduler dinâmico de forma a que a carga de trabalho seja distribuída pelas threads.

3.1 Locks



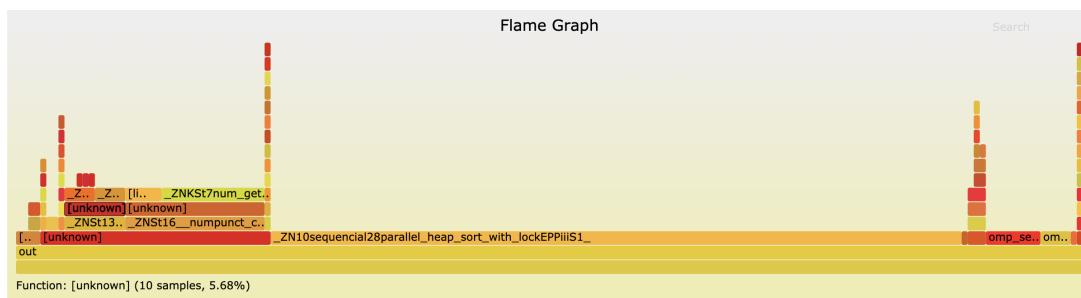
A line graph titled "SpeedUp w/o Locks" showing the relationship between the number of threads and the speedup achieved. The x-axis is labeled "Threads" and has values 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, and 128. The y-axis is labeled "Speedup" and has values 0, 2, 4, and 6. The graph shows a blue line that starts at (1, 1), rises to (2, 3), stays at 3 for 4 threads, then rises sharply to approximately 5.7 for 8 threads, and continues to rise slightly to about 5.5 for 128 threads.

Threads	Speedup
1	1.0
2	3.0
4	3.0
8	5.7
16	5.5
32	5.3
64	5.5
128	5.4

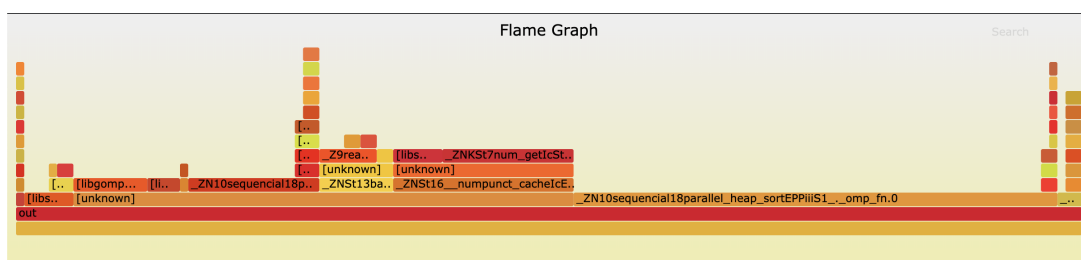
3.3.1 Sequential



3.3.2 Com Locks



3.3.3 Sem Locks



4 Análise dos Resultados

Após ver os gráficos anteriores conseguimos perceber claramente que a paralelização resulta, em ambos os casos. No entanto, percebemos que o algoritmo sem locks é bastante melhor.

Todavia também se pode reparar que chegando às 8 threads o SpeedUp estabiliza em ambos os casos, o que pode ser explicado por estarmos a utilizar o nosso computador pessoal que apenas tem 4 cores.

No que toca aos FlameGraphs, percebe-se claramente que a implementação sequencial tem um fio de execução muito monótono quando se compara aos outros dois.

5 Conclusão

A paralelização de algoritmos nem sempre é fácil, e neste trabalho tivemos um exemplo disso.

Heapsort é um algoritmo de ordenação extramamente difícil de paralelizar tendo em conta as suas características. Primeiro, é bastante difícil paralelizar a carga de trabalho de um siftDown sem aumentar bastante a complexidade do código e do algoritmo, por outro lado a paralelização é impossível realizar vários siftDowns ao mesmo tempo sem correr o resultado correto do algoritmo.

Com o perf conseguimos perceber o comportamento dos vários algoritmos implementados, e perceber as suas diferenças. Conseguimos também perceber o que cada algoritmo utiliza do sistema. Por exemplo, com o perf percebe-se claramente qual é o algoritmo que utiliza locks, visto que procurando pelas funções chamadas após a realização do record, há funções que chamam locks.

Em suma, este projeto serviu para percebermos a complexidade de paralelizar algoritmos que às vezes nos parecem bastante básicos, e ao mesmo tempo para ter mais alguma experiência e perceber a importância de ferramentas de profiling como o perf.