Universidade do Minho

Mestrado em Engenharia Informática

Algoritmos Paralelos - 2014/2015

BubbleSort Paralelizado

10 de Março de 2015

Fábio Gomes pg27752

Índice

Introdução

O problema que nos foi apresentado está relacionado com o algoritmo de ordenação `BubbleSort` normalmente conhecido como o pior algoritmos de todos do género. É nosso trabalho tentar paraleliza-lo.

Há que ter em atenção pois não se trata de uma simples paralelização com `pragma omp parallel` tradicional, temos que tratar de casos de sincronismo e concorrência de dados.

Caracterização do Sistema

Nodo do Cluster obtido

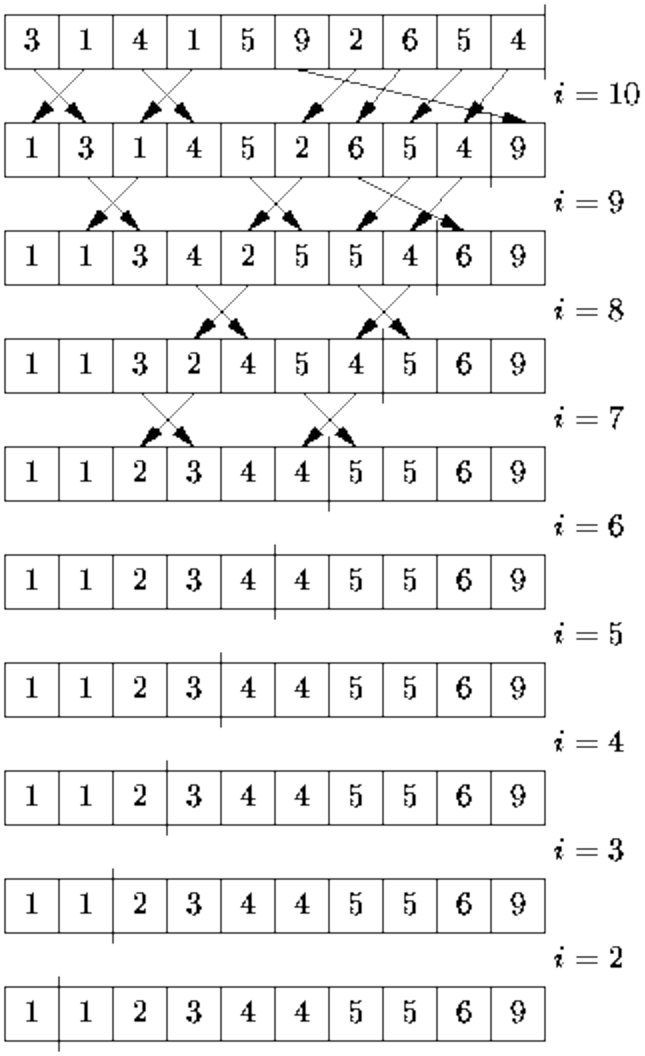
Para utilização deste projeto tivemos que recorrer ao SEARCH, que tem a seguinte especificação.

	Cluster Node
Manufacturer	intel
Model	e5-2695v2
Clock speed	2.4 GHz
Architecture	x86-64
µArchitecture	Ivy Bridge
#Cores	12
#Threads per Core	2
Total Threads	24
Peak FP performance	38.4 GFLOP/s
L1 cache	768kB (32kB L1 Data per Core)
L2 cache	3MB (256kB per Core)
L3 cache	30,720 kB (Shared)
Main Memory	66,068,588 kB
Memory Channels	4
Max Memory	786,432 MB
Max Bandwidth	59,733.32 MB/s

Explicação do Problema

O BubbleSort é uma técnica básica em que se comparam dois elementos do vetor/*array* e trocam-se as suas posições se o primeiro elemento é maior do que o segundo. São feitas várias passagens pela tabela e em cada uma, comparam-se dois elementos adjacentes tal que se estes elementos estiverem fora de ordem, eles são trocados segundo o critério previamente explicado. Podendo ser trocado conforme se pretenda de forma Ascendente ou Descendente.

Este método tem como vantagem a sua simplicidade e a estabilidade mas peca por ser muito lento. Deve ser usado para tabelas muito pequenas ou quando se sabe que a tabela está quase ordenada. O nome vem do método da troca em que os elementos menores (mais "leves") vão aos poucos "subindo" para o início da tabela, como se fossem bolhas. Exemplificado na figura seguinte.



Exemplo para um array de 10 elementos - 1

Análise do Código Fornecido

O programa é bastante simples, é gerado um vetor `a` de tamanho `n` e para cada posição dele é percorrido até ao fim fazendo as trocas. Terminando apenas quando todos os índices estiverem percorridos.

```
/*-------------------------------------------------------------------
 * Function:     Bubble_sort
 * Purpose:      Sort list using bubble sort
 * In args:      n
 * In/out args:  a
 */
void Bubble_sort(
      int  a[]  /* in/out */,
      int  n    /* in     */) {
   int list_length, i, temp;

   for (list_length = n; list_length >= 2; list_length--)
      for (i = 0; i < list_length-1; i++)
         if (a[i] > a[i+1]) {
            temp = a[i];
            a[i] = a[i+1];
            a[i+1] = temp;
         }

}  /* Bubble_sort */
```

Paralelização com OpenMP

A Paralelização não é tão trivial como poderá parecer porque há concorrência nos dados. Para tal é necessário usar um novo mecanismo do OpenMP chamado `omp_lock_t`. Como o nome indica é feito um lock a um elemento de forma a que apenas 1 thread o consiga ter em sua posse. Assim, crio um array de locks chamado lock de tamanho igual ao número de threads.

```
lock = (omp_lock_t*) malloc((nthreads)*sizeof(omp_lock_t));
```

Com ele já teremos mais controlo no vetor para ordenarmos sem problemas.

É preciso ainda definir uma subdivisão do vetor, chamada de bloco. O tamanho de cada bloco `block_size` é igual ao tamanho do vetor a dividir pelo número de locks (igual ao número de threads). Cada bloco é associado um `lock`, assim apenas 1 thread poderá fazer as trocas à vontade sem se preocupar com concorrência pois é apenas ela que lá está.

Com o decorrer do tempo o lock será libertado e o seguinte será adquirido, o que foi libertado será apanhado por uma thread que estava à espera para continuar a sua iteração. Desta forma haverá uma sequência de threads ao longo do vetor sem nunca se cruzarem causando conflitos.

Em termos de código, é iniciado o vetor de locks, algumas variáveis de condição e o tamanho do bloco.

```
double start = omp_get_wtime();
    int list_length=n, i,x,ind, temp,ltemp,max;
    block_size = (int)(list_length/nthreads);
    for(i=0;i<nthreads;i++)
    omp_init_lock(&(lock[i]));
    int ordered = 0,changed = 0;
```

Depois começa o ciclo principal com um pragma omp parallel para criar a região paralela com a particularidade de partilhar, obviamente, o vetor a ser ordenado, o tamanho da lista que vai decrescendo ao longo das iterações, o vetor de locks e a condição ordered que nos vai parar o ciclo principal quando 1 thread chegar ao fim sem fazer uma troca sugerindo que está o vetor ordenado poupando tempo.

```
#pragma omp parallel shared(a,lock,n,list_length,ordered) num_threads(nthreads)
private(temp,i,ltemp,ind) firstprivate(block_size,changed)
    while(!ordered){
changed = 0;
```

Já dentro do ciclo while temos que percorrer os blocos do vetor e em cada um fazer lock. Depois apenas iteramos elementos naquelas posições até ao fim do bloco, ou do vetor quando estamos no último bloco. Por fim libertamos o lock e verificamos se fizemos alterações para parar o ciclo while e decrementamos 1 ao tamanho do vetor para que a próxima thread não vá até ao fim de todo pois é inútil.

```
      for(ind=0;ind<nthreads;ind++){
            omp_set_lock(&(lock[ind]));
            max = list_length>(ind+1)*block_size ? (ind+1)*block_size :
list_length;
            for (i = ind*block_size; i < max; i++){
                if (a[i] > a[i+1]) {
                    temp = a[i];
                    a[i] = a[i+1];
                    a[i+1] = temp;
                    changed = 1;
                }
            }
            omp_unset_lock(&(lock[ind]));
        }
        if(changed==0)
        ordered = 1;
        list_length--;
    }
```

Para finalizar destruímos o vetor de locks e contabilizamos o tempo.

```
    for(i=0;i<nthreads;i++)
    omp_destroy_lock(&(lock[i]));
    double end = omp_get_wtime();
    printf("%3.2gn",end-start);
```

Código BubbleSort Paralelizado

```
void Bubble_sort(
int  a[]  /* in/out */,
int  n    /* in     */) {
    double start = omp_get_wtime();
    int list_length=n, i,x,ind, temp,ltemp,max;
    block_size = (int)(list_length/nthreads);
    for(i=0;i<nthreads;i++)
    omp_init_lock(&(lock[i]));
    int ordered = 0,changed = 0;
    #pragma omp parallel shared(a,lock,n,list_length,ordered) num_threads(nthreads)
private(temp,i,ltemp,ind) firstprivate(block_size,changed)
    while(!ordered){
        changed = 0;
        for(ind=0;ind<nthreads;ind++){
            omp_set_lock(&(lock[ind]));
            max = list_length>(ind+1)*block_size ? (ind+1)*block_size : list_length;
            for (i = ind*block_size; i < max; i++){
                if (a[i] > a[i+1]) {
                    temp = a[i];
                    a[i] = a[i+1];
                    a[i+1] = temp;
                    changed = 1;
                }
            }
            omp_unset_lock(&(lock[ind]));
        }
        if(changed==0)
        ordered = 1;
        list_length--;
    }
    for(i=0;i<nthreads;i++)
    omp_destroy_lock(&(lock[i]));
    double end = omp_get_wtime();
    printf("%3.2gn",end-start);
}  /* Bubble_sort */
```

Testes e Análise de Resultados

Com tudo concluído, é tempo de fazer medições de tempos de execução e analisar os resultados.

Os testes foram feitos para uma divisão de blocos igual ao número de threads apenas e com número de threads e de tamanho variado como sugere a seguinte tabela.

	#Threads											
Size	**Serial**	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**	**14**	**16**	**20**	**30**	**40**	Min
100	**0,002**	0,0002	0,0003	0,0003	0,0004	0,0007	0,0006	0,0006	0,0008	0,0012	0,0065	0,0002
500	**0,004**	0,0008	0,0018	0,0018	0,0019	0,003	0,0022	0,002	0,0021	0,0026	0,0079	0,0008
1000	**0,008**	0,0035	0,0043	0,0047	0,0054	0,0086	0,0047	0,005	0,0048	0,0047	0,016	0,0035
5000	**0,092**	0,069	0,071	0,073	0,068	0,067	0,062	0,05	0,044	0,041	0,036	0,036
10000	**0,365**	0,18	0,28	0,27	0,25	0,22	0,18	0,16	0,14	0,11	0,13	0,11
50000	**8,905**	7,5	6,7	6,6	6,5	6,4	3,2	3	2,4	2,3	1,9	1,9
100000	**30,135**	17	27	26	24	14	13	11	9,9	7,9	7,5	7,5
200000	**122,07**	90	110	120	90	67	56	44	42	31	21	21

A Verde estão representados os tempos mais baixos (melhores) e a Vermelho os maiores (piores).

Conseguimos traçar um padrão, a versão Serial fornecida consegue ser sempre pior para estes casos de teste mas prevejo que para valores mais baixos de input isto não ocorra.

Como seria de esperar quanto maior o problema em termos de tamanho do vetor mais tempo irá durar, obrigando a um aumento do número de threads para que o seu tempo de execução não aumente também de forma explosiva.

Todos os tempos medidos são abaixo do Serial o que me satisfaz mas muito provavelmente será possível obter tempos muito melhores porque há algumas lacunas na minha implementação que não foram corrigidas, nomeadamente quando uma thread está à espera de um lock para um bloco seguinte mas esse bloco já não é preciso pois o tamanho da lista (virtual que decresce a cada thread concluída) já é mais baixo que esse. Fazendo com que seja uma perca de tempo esperar pelo lock que não é necessário de todo.

Conclusão

Para além de ser um caso prático e cativar por si só foi também um trabalho muito bom na medida em que permitiu usar novos conhecimentos adquiridos nesta Unidade Curricular que não foram abordados anteriormente. Um trabalho que apesar de parecer simples engloba em si vários aspectos que tiveram de ser devidamente considerados para que o algoritmo funcionasse corretamente.

No final dou o trabalho por concluído mas sem deixar a nota que poderá ser melhorado como já referi. Já tínhamos utilizado locks em Sistemas Distribuídos mas nesta aplicação prática revelaram-se muito mais críticos e obrigaram a uma maior preparação e análise do problema.