LABORATÓRIO DE PROGRAMAÇÃO PARALELA
TRABALHO FINAL

Alunos:
Vitor Costa Hardoim
Rafael Dantas Amancio

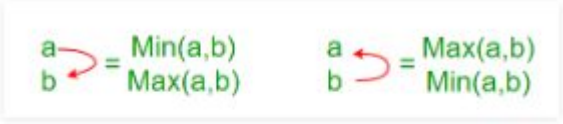
OpenMP

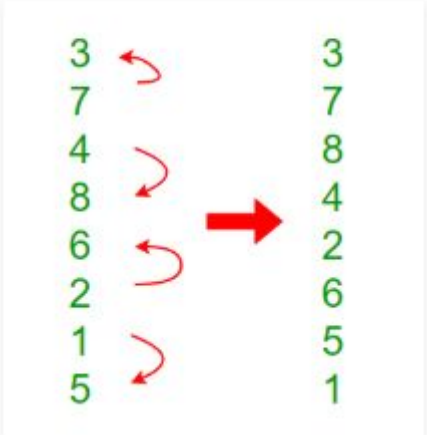
Nessa sessão foram estudados os seguintes métodos de ordenação: BubbleSort, MergeSort, QuickSort e BitonicSort. Após a análise do funcionamento desses algoritmos concluímos que dentre eles, o mais interessante para implementação por threads foi o BitonicSort, pois o comportamento do seu loop de criação da rede de ordenação favorece a implementação paralela, já que nós sempre comparamos os elementos de maneira pré-definida e a sequência de comparações não depende dos valores do array.

- BitonicSort

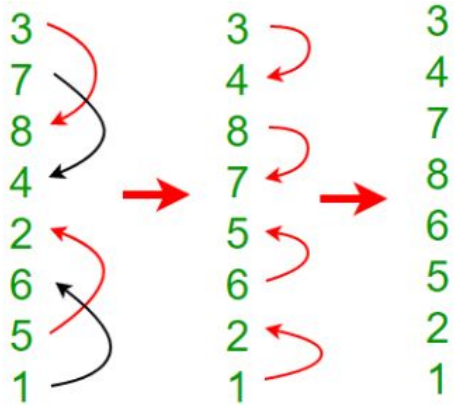
Vetor [3, 7, 4, 8, 6, 2, 1 ,5]

- 1º passo: Consideramos cada 2 elementos consecutivos como uma sequência bitônica, ou seja, os 2 primeiros nós ordenamos de maneira crescente e os 2 seguintes em ordem decrescente, assim por diante, aumentando os grupos em potências de 2(4, 8, 16, 32...)





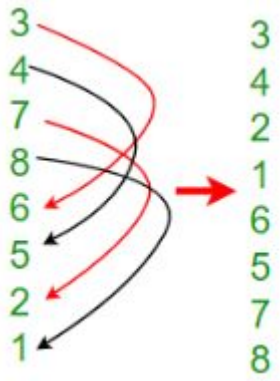
- 2º passo: Teremos 2 sequências bitônicas: **(3, 7, 8, 4)** e **(2, 6, 5, 1)**.



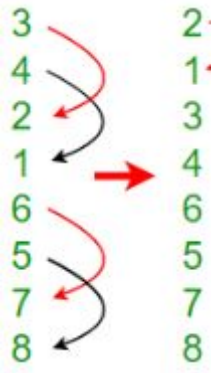
Porém, agora o tamanho da comparação é de 2, assim comparamos x0 com x2, x1 com x3 e assim por diante.
Depois desse passo, teremos uma sequência bitônica de 8 elementos.

Vetor [3, 4, 7, 8, 6, 5, 2, 1]

Com a sequência bitônica completa, faremos o seguinte passo, depois dele teremos a primeira metade ordenada em ordem crescente e a segunda decrescente
Nós vamos comparar o primeiro elemento da primeira metade, com o primeiro da segunda e assim por diante, trocando caso o da primeira metade for menor:



Nesse ponto, nós teremos 2 sequência bitônicas de tamanho n/2: **(3, 4, 2, 1)** e **(6, 5, 7, 8)**, nós repetimos o mesmo processo, agora com as 2 sequências e vamos obter 4 de tamanho n/4.



Por último, repetiremos esse processo para as 4 sequências, terminando com 8 de tamanho n/8, que é 1, e o vetor está ordenado.

- Implementação:

```
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <time.h>
#include <omp.h>
#define SIZE 1024

void trocaCrescente(int index1, int index2, int *array) //Troca 2 valores de posição para ficarem em ordem crescente no array.
{
	if (array[index2] < array[index1])
	{
	int temp = array[index2];
	array[index2] = array[index1];
	array[index1] = temp;
	}
}

void trocaDecrescente(int index1, int index2, int *array) //Troca 2 valores de posição para ficarem em ordem crescente no array.
{
	if (array[index1] < array[index2])
	{
	int temp = array[index2];
	array[index2] = array[index1];
	array[index1] = temp;
	}
}

void bitonicSortFromBitonicSequence(int startIndex, int lastIndex, int dir, int *ar) // Cria um array crescente ou decrescente dependendo da direção de entrada.
{
	if (dir == 1) // Ordenação crescente
	{
	int cont = 0; //contador para sabermos quais elementos já foram trocados de posição
	int n_elements = lastIndex - startIndex + 1;
	for (int j = n_elements / 2; j > 0; j /= 2)
	{
	cont = 0;
	for (int i = startIndex; i + j <= lastIndex; i++)
	{
				if (cont < j)
				{
		trocaCrescente(i, i + j, ar);
		cont++;
				}else
				{
		cont = 0;
		i += j - 1;
				}
```

```
                        }
                }
        }else // Ordenação decrescente
        {
        int cont = 0;
        int n_elements = lastIndex - startIndex + 1;
        for (int j = n_elements / 2; j > 0; j /= 2)
        {
        cont = 0;
        for (int i = startIndex; i <= (lastIndex - j); i++)
        {
                if (cont < j)
                {
                trocaDecrescente(i, i + j, ar);
                cont++;
                }
                else{
                cont = 0;
                i += j - 1;
                }
        }
}
}
}
void bitonicSequenceGenerator(int startIndex, int lastIndex, int *array) // Cria uma sequência bitonica, ou seja, a primeira metade crescente e a segunda decrescente
{
        int n_elements = lastIndex - startIndex + 1;
        for (int j = 2; j <= n_elements; j *= 2)
        {
        #pragma omp parallel for num_threads(4)
        for (int i = 0; i < n_elements; i += j)
        {
        if (((i / j) % 2) == 0)
        {
                bitonicSortFromBitonicSequence(i, i + j - 1, 1, array);
        }
        else
        {
                bitonicSortFromBitonicSequence(i, i + j - 1, 0, array);
        }
        }
        }
}

int main()
{
        int size = SIZE;
        int array[size];
        srand(time(NULL));
        //gera o vetor aleatório
```

```
	for (int i = 0; i < size; i++)
	{
		array[i] = rand() % size;
	}

	//algoritmo de ordenação
	bitonicSequenceGenerator(0, size - 1, array);

	//printa o vetor de saida
	for(int i = 0; i < size; i++)
	{
		//printf("[%d]:%d ", i, array[i]);
	}
}
```

- Tempos:

Nesse momento fizemos comparações com 4 e 1(não paralelizado) threads e 1024 elementos, obtendo o seguinte resultado:

4 threads - 1024 elementos:
0,008s
0,004s
0,005s
0,003s
0,005s
1 thread - 1024 elementos:
0,004s
0,003s
0,004s
0,004s
0,003s

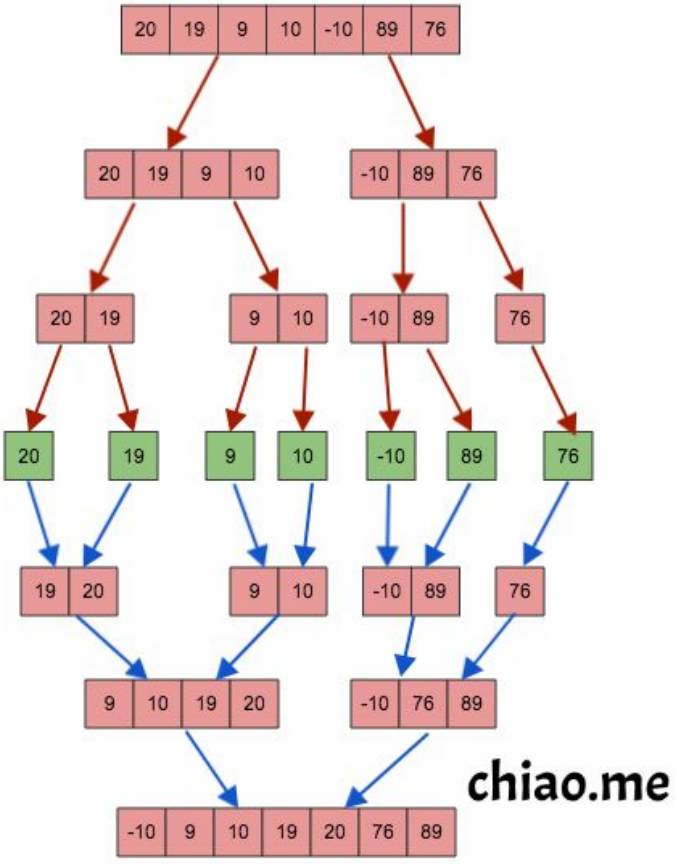
Como para um vetor pequeno o tempo é muito curto, testamos para um vetor de tamanho 2^20, obtendo uma melhora perceptível com o paralelismo.

4 threads - 1048576 elementos:
0,417s
0,424s
0,419s
0,416s
0,422s
1 thread - 1048576 elementos:
1.094s
1,153s
1,089s
1,096s
1,092s

MPI:

Nessa sessão o algoritmo de ordenação escolhido com o MergeSort, pois como o merge trabalha com subvetores que serão mesclados posteriormente à sua ordenação individual, podemos dividir essa tarefa em 4(processos) subtarefas diferentes, dessa forma temos um ganho de tempo razoável, enquanto a estrutura do algoritmo se mantém praticamente a mesma.

- MergeSort



No diagrama acima temos uma explicação bem simplificada do funcionamento do MergeSort, a ideia do algoritmo é dividir o vetor inicial desordenado em partes iguais, até que o subvetor tenha um tamanho igual à 1, a partir desse ponto é feito o merge. Os subvetores de tamanho 1 são comparados e mesclados em ordem crescente, um ponteiro percorre cada subvetor e adiciona o menor dos valores no vetor resultante, repetindo o processo até que não hajam mais subvetores.

- Implementação:

Abordagem 1:

```
#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>
#include<mpi.h>
```

```
#include<time.h>

void merge(int arr[], int l, int m, int r)
{
    int i, j, k;
    int n1 = m - l + 1;
    int n2 =  r - m;

    int L[n1], R[n2];

    for (i = 0; i < n1; i++)
        L[i] = arr[l + i];
    for (j = 0; j < n2; j++)
        R[j] = arr[m + 1+ j];

    i = 0;
    j = 0;
    k = l;
    while (i < n1 && j < n2)
    {
        if (L[i] <= R[j])
        {
            arr[k] = L[i];
            i++;
        }
        else
        {
            arr[k] = R[j];
            j++;
        }
        k++;
    }
    while (i < n1)
    {
                arr[k] = L[i];
        i++;
        k++;
    }
    while (j < n2)
    {
                arr[k] = R[j];
        j++;
        k++;
    }
}

void mergeSort(int arr[], int l, int r)
{
    if (l < r)
    {
        int m = l+(r-l)/2;
```

```
        mergeSort(arr, l, m);
        mergeSort(arr, m+1, r);
        merge(arr, l, m, r);
    }
}

void printArray (int arr[], int n)
{
    for (int i = 0; i < n; i++)
        printf("%d ", arr[i]);
    printf("\n");
}

int main(int argc, char* argv[]){
    int my_rank;
            int np; // número de processos
            int n=1024; // número de elementos
            MPI_Status status;

    MPI_Init(&argc, &argv);
            MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &my_rank);
            MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &np);

            int r=n/np;
            if(my_rank == 0){

        int vet[n];

                srand(time(NULL));
                        //gera o vetor aleatório
                        for (int i = 0; i < n; i++)    vet[i] = rand() % n;

        for(int i = 1; i<4;i++){
           MPI_Send(vet+(r*i),r,MPI_INT,i,0,MPI_COMM_WORLD);
        }

        int resp[n];
        int aux[r];
        for(int i = 0; i<r; i++) resp[i] = vet[i];
        mergeSort(resp,0,r-1);

                        printf("Rank: %d\n", my_rank);
                        printArray(resp, r);
                        printf("\n");

                        printf("Merge 0:\n");
                        printArray(resp, r);
                        printf("\n");

        for(int i = 1; i<4; i++){
           MPI_Recv(aux,r,MPI_INT,i,0,MPI_COMM_WORLD,&status);
```

```
            for(int j = 0; j < r; j++) resp[r*i+j] = aux[j];
            merge(resp, 0, r*i, r*i+r-1);

                                    printf("Merge %d: \n", i);
                                    printArray(resp, r*i + r);
                                    printf("\n");
        }
                        printf("Resultado:\n");
                        printArray(resp,n);
      }else{
             int vet[r];
        MPI_Recv(vet,r,MPI_INT,0,0,MPI_COMM_WORLD,&status);
        mergeSort(vet,0,r-1);

                        printf("Rank: %d\n", my_rank);
                        printArray(vet, r);
                        printf("\n");

        MPI_Send(vet,r,MPI_INT,0,0,MPI_COMM_WORLD);
      }
      MPI_Finalize();
    }
```

- Tempos:

4 processos - 1024 elementos:
0,137s
0,142s
0,119s
0,122s
0,120s

Abordagem 2:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "mpi.h"
#define SIZE 1024


void merge(int vetor[], int comeco, int meio, int fim) {

    int com1 = comeco, com2 = meio+1, comAux = 0, tam = fim-comeco+1;

    int *vetAux;

    vetAux = (int*)malloc(tam * sizeof(int));
```

```
while(com1 <= meio && com2 <= fim){
if(vetor[com1] < vetor[com2]) {
vetAux[comAux] = vetor[com1];
com1++;
} else {
vetAux[comAux] = vetor[com2];
com2++;
}
comAux++;
}

while(com1 <= meio){  //Caso ainda haja elementos na primeira metade
vetAux[comAux] = vetor[com1];
comAux++;
com1++;
}

while(com2 <= fim) {   //Caso ainda haja elementos na segunda metade
vetAux[comAux] = vetor[com2];
comAux++;
com2++;
}

for(comAux = comeco; comAux <= fim; comAux++){          //Move os elementos de volta para o vetor original
```

```
        vetor[comAux] = vetAux[comAux-comeco];

        }



        free(vetAux);

}


void mergeSort(int vetor[], int comeco, int fim){

        if (comeco < fim) {

        int meio = (fim+comeco)/2;


        mergeSort(vetor, comeco, meio);

        mergeSort(vetor, meio+1, fim);

        merge(vetor, comeco, meio, fim);

        }

}

int array[SIZE];

int main(int argc, char **argv){
        int meu_rank, np, tam;
        tam = SIZE/np;

        int parte[tam];

        MPI_Init(&argc, &argv);
        MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &meu_rank);
        MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &np);


        if(meu_rank == 0){
                for(int i = 0; i < 1024; i++){
                        array[i] = random()%1024;
                }
```

```
    }

    MPI_Scatter(array, tam, MPI_INT, parte, tam, MPI_INT, 0, MPI_COMM_WORLD);


    mergeSort(parte, 0, tam-1);

    MPI_Gather(parte, tam, MPI_INT, array, tam, MPI_INT, 0, MPI_COMM_WORLD);


    if(meu_rank == 0) {

        mergeSort(array, 0, 1023);

        printf("Vetor ordenado: \n");
        for(int j = 0; j < 1024; j++) {

            printf("%d ", array[j]);

        }

        printf("\n");
        printf("\n");


    }


    MPI_Barrier(MPI_COMM_WORLD);
    MPI_Finalize();

}
```

- Tempos:

4 processos - 1024 elementos:
0,092s
0,081s
0,070s
0,088s
0,104 s