Лабораторная работа №5

"Технология MPI. Введение"

Выполнил студент группы Б20-505
Сорочан Илья

Московский Инженерно-Физический Интститут
Москва 2023

1 Рабочая среда

Технические характеристики (вывод *inxi*):

```
CPU: 6-core AMD Ryzen 5 4500U with Radeon Graphics (-MCP-)
speed/min/max: 1396/1400/2375 MHz Kernel: 5.15.85-1-MANJARO x86_64 Up: 46m
Mem: 2689.5/7303.9 MiB (36.8%) Storage: 238.47 GiB (12.6% used) Procs: 238
Shell: Zsh inxi: 3.3.24
```

Используемый компилятор:

```
gcc (GCC) 12.2.0
```

Версия MPI:

```
Open MPI 4.1.4
```

Согласно официальной документации даная версия компилятора поддерживает *OpenMP 5.0* (необходимо для сравнения с первой лабораторной)

2 Работа с *MPI*

Стоит отметить, что в используемой мной среде для компиляции программ, поддерживающих *MPI* обязательно использование специального компилятора *mpicc*.

Вывод программы в однопоточном режиме:

```
MPI Comm Size: 1;
MPI Comm Rank: 0;
Processor #0 has array: 788159773 2052308573 1377030627 1699618045 676203154 299802456 1767965774 1838448927 1686836254 1335355396
Processor #0 checks items 0 .. 9;
Processor #0 reports local max = 2052308573;

*** Global Maximum is 2052308573;
MPI Finalize returned (0);
```

Вывод программы в многопоточном режиме при запуске с 4-мя процессами:

```
MPI Comm Size: 4;
MPI Comm Rank: 2;
MPI Comm Size: 4;
MPI Comm Rank: 3;
MPI Comm Size: 4;
MPI Comm Rank: 0;
Processor #0 has array: 788159773 2052308573 1377030627 1699618045 676203154 299802456 1767965774 1838448927 1686836254 1335355396
Processor #0 checks items 0 .. 1;
Processor #0 reports local max = 2052308573;
Processor #3 has array: 788159773 2052308573 1377030627 1699618045 676203154 299802456 1767965774 1838448927 1686836254 1335355396
Processor #3 checks items 7 .. 9;
Processor #3 reports local max = 1838448927;
MPI Comm Size: 4;
MPI Comm Rank: 1;
Processor #1 has array: 788159773 2052308573 1377030627 1699618045 676203154 299802456 1767965774 1838448927 1686836254 1335355396
Processor #1 checks items 2 .. 4;
Processor #1 reports local max = 1699618045;
Processor #2 has array: 788159773 2052308573 1377030627 1699618045 676203154 299802456 1767965774 1838448927 1686836254 1335355396
Processor #2 checks items 5 .. 6;
Processor #2 reports local max = 1767965774;
MPI Finalize returned (0);

*** Global Maximum is 2052308573;
MPI Finalize returned (0);
MPI Finalize returned (0);
MPI Finalize returned (0);
```

3 Скорость *MPI*

3.1 Программные коды

Использовался код программы:

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

int main(int argc, char** argv)
{
        int ret  = -1;  ///< For return values
        int size = -1;  ///< Total number of processors
        int rank = -1;  ///< This processor's number

        const int count = 1e1; ///< Number of array elements
        const int random_seed = 920215; ///< RNG seed
        clock_t start, end;

        int* array = 0; ///< The array we need to find the max in
        int lmax = -1;  ///< Local maximums
        int  max = -1;  ///< The maximal element

        /* Initialize the MPI */
        ret = MPI_Init(&argc, &argv);

        /* Determine our rankand processor count */
        MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &size);
        MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &rank);

        /* Allocate the array */
        array = (int*)malloc(count * sizeof(int));

        /* Master generates the array and starts the timer */
        if (!rank) {
                /* Initialize the RNG */
                srand(random_seed);
                /* Generate the random array */
                for (int i = 0; i < count; i++) { array[i] = rand(); }

                start = clock();
        }
        /* Send the array to all other processors */
        MPI_Bcast(array, count, MPI_INTEGER, 0, MPI_COMM_WORLD);

        const int wstart = (rank    ) * count / size;
        const int wend   = (rank + 1) * count / size;

        for (int i = wstart;
                i < wend;
                i++)
        {
                if (array[i] > lmax) { lmax = array[i]; }
        }

        MPI_Reduce(&lmax, &max, 1, MPI_INTEGER, MPI_MAX, 0, MPI_COMM_WORLD);

        if (!rank) {
                end = clock();
                const double CLOCKS_PER_MS = (double)CLOCKS_PER_SEC / 1000;
                double total = (double)(end - start) / CLOCKS_PER_MS;
                printf("%.3f", total);
        }

        ret = MPI_Finalize();
```

```
    return 0;
}
```

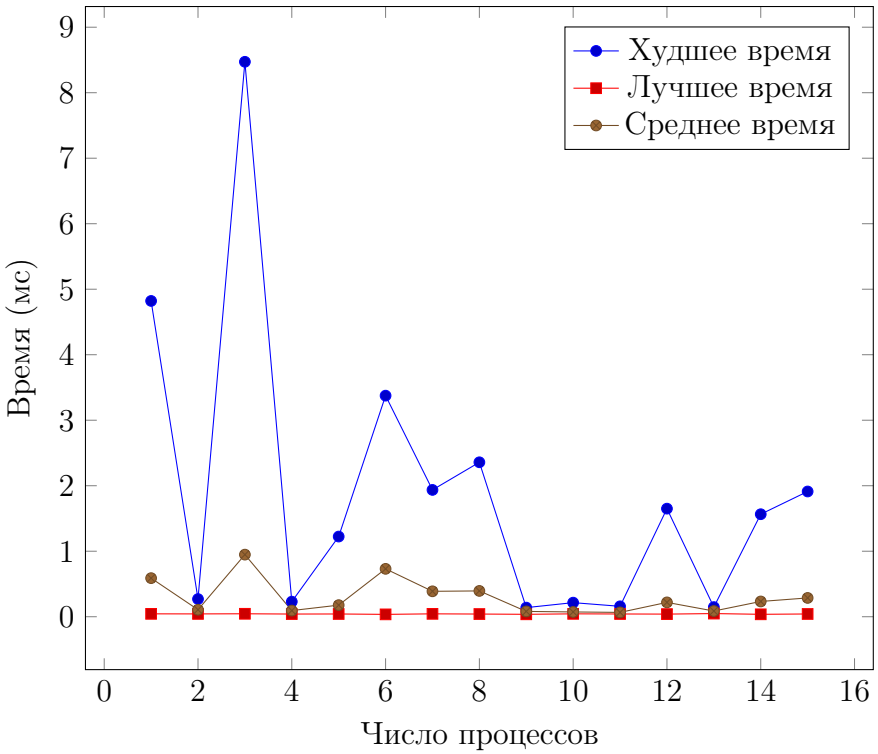
И небольшой скрипт для сбора данных в *.csv*:

```
# This script compiles main.c with different number of threads
# and collects data to data.csv file
# format: worst,best,average
import os
import subprocess
import csv
import sys

# important constants
RUNS_PER_THREADS = 10
THREADS_LIMIT = 16

# compile with threads
def compile():
    os.system("mpicc main.c -o main")

def compile_opt():
    os.system("mpicc main.c -O3 -o main")

# capture worst, best and average
def run(threads):
    data = []
    for _ in range(RUNS_PER_THREADS):
        proc = subprocess.run(["mpirun", "main", "-c", str(threads), "-mca",\
            "opal_warn_on_missing_libcuda", "0"], capture_output=True, text=True)
        data.append(float(proc.stdout))

    worst = data[0]
    best = data[0]
    s = 0
    for val in data[1:]:
        if val > worst:
            worst = val
        if val < best:
            best = val
        s += val
    return (worst, best, s / len(data))

def main():
    if len(sys.argv) < 2 or sys.argv[1] != 'opt':
        comp = compile
    else:
        comp = compile_opt
    comp()

    if len(sys.argv) >= 3:
        file = sys.argv[2]
    else:
        file = "data.csv"

    with open(file, "w") as data:
        writer = csv.writer(data)
        writer.writerow(["Threads", "Worst (ms)", "Best (ms)", "Average (ms)"])
        for threads in range(1, THREADS_LIMIT):
            print("Testing threads =", threads)

            writer.writerow([str(threads)] + \
                ["{:.3f}".format(val) for val in run(threads)])
```

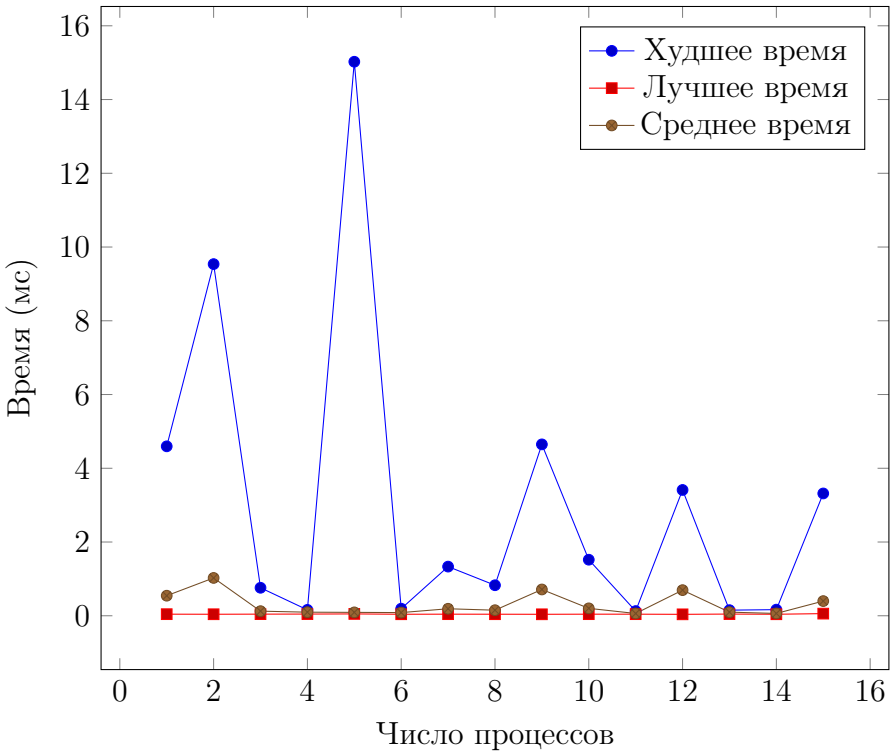
```
if __name__ == "__main__":
    main()
```

3.2 Экспериментальные данные

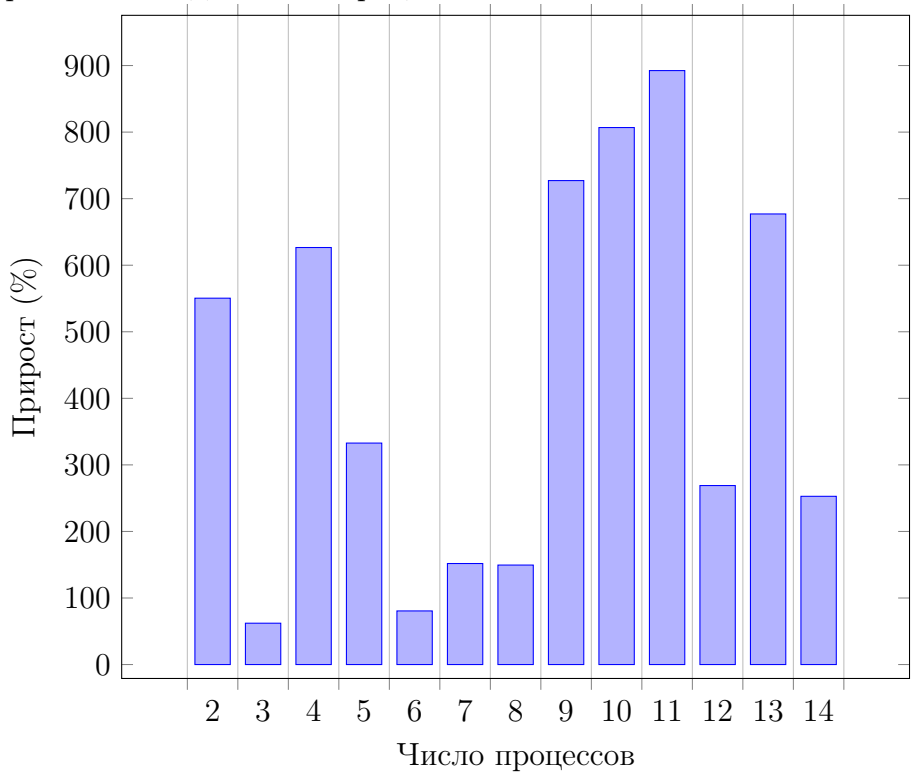
В программе так же использовалось по 10 запусков на количество процессов.



Видно, что в среднем программа работает быстрее, хоть и пик её производительности остается прежним. Рассмотрим случай с оптимизациями (аналогично первой лабораторной):

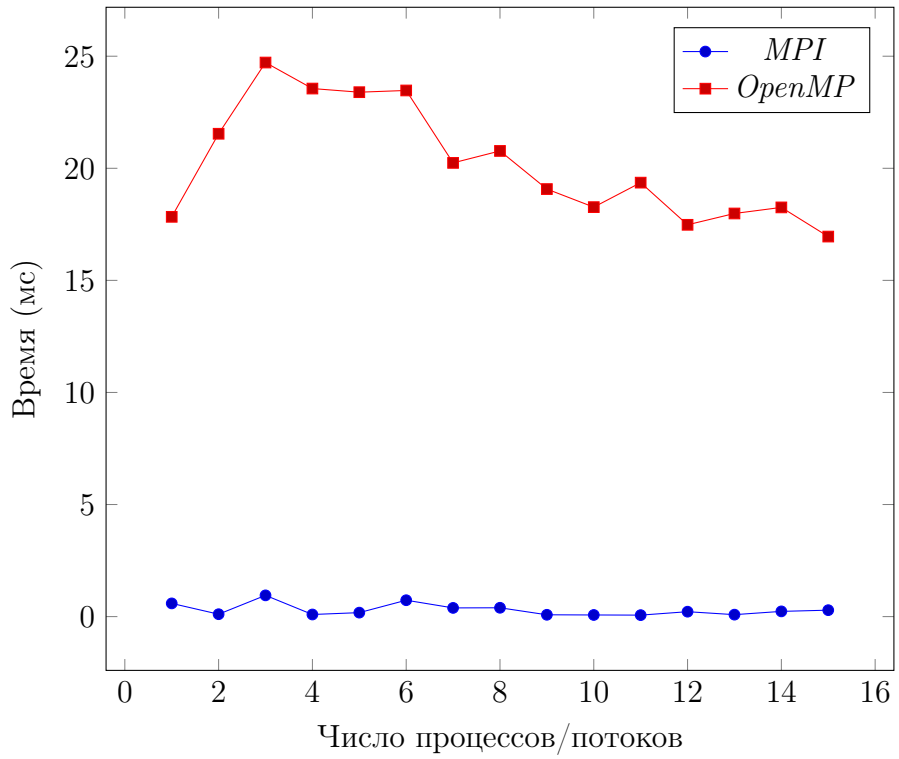


Прирост производительности в *MPI* в отличие от *OpenMP* положителен. Эффективность прироста за каждое число процессов относительно 1:



4 Сравнение *MPI* и *OpenMP*

Сравним время, для различного числа процессов/потоков:



Неоспоримое превосходство MPI (используются результаты из первой рабораторной)

5 Заключение

В данной работе была исследована работа с *MPI*. Был написан скрипт, собирающий информацию о времени исполнения программы.

В ходе работы было выяснено, что программа, написанная в первой лабораторной работе с применением *OpenMP* выполняется гораздо медленнее.

Несмотря на это в прошлой лабораторной мной были изучены типы распределения нагрузки, которые возможно помогли бы приблизить результаты *OpenMP* к результатам *MPI*.