Московский Авиационный Институт

(Национальный Исследовательский Университет)

Факультет информационных технологий и прикладной математики

Кафедра вычислительной математики и программирования

Лабораторная работа №3 по курсу

«Операционные системы»

УПРАВЛЕНИЕ ПОТОКАМИ В ОС

Студент: Пермяков Никита Александрович
Группа: М8О–208Б–19
Вариант: 3
Преподаватель: Соколов Андрей Алексеевич
Оценка: _____
Дата: _____
Подпись: _____

Москва, 2020

Содержание

Постановка задачи

Составить программу, обрабатывающую данные в многопоточном режиме. При обработке использовать стандартные средства создания потоков операционной системы. При создании необходимо предусмотреть ключи, которые позволяли бы задать максимальное количество потоков, используемое программой. При возможности необходимо использовать максимальное количество возможных потоков. Ограничение потоков может быть задано или ключом запуска вашей программы, или алгоритмом.

Отсортировать массив строк при помощи параллельной сортировки слиянием.

Базисом для определения метрик параллельных вычислений являются следующие характеристики вычислений:

n - количество процессоров, используемых для организации параллельных вычислений;

O(n) - объем вычислений, выраженный через количество операций, выполняемых n процессорами в ходе решения задачи;

T(n) - общее время вычислений (решения задачи) с использованием n процессоров.

1) Скорость вычислений:
   - Индекс параллелизма: $PI(n)=O(n)/T(n)$.
   - **Ускорение:** $S(n)=T(1)/T(n)$.
2) Эффективности привлечения дополнительных процессоров:
   - **Эффективность:** $E(n)=S(n)/n=T(1)/(n \times T(n))$.
   - Утилизация: $U(n)=R(n) \times E(n)=O(n)/(n \times T(n))$.
3) Сравнение объема вычислений:
   - Избыточность: $R(n)=O(n)/O(1)$.
   - Сжатие: $C(n)=O(1)/O(n)$.

Общие сведения о программе

Программа компилируется из файла main.cpp. Также используется заголовочные файлы: iostream, string, pthread.h, math.h. В программе используются следующие системные вызовы:

1. **CreateThread** – создает новый поток
2. **pthread_join** – ожидает завершения переданного потока, получает его выходное значение
3. **pthread_mutex_init** – инициализация mutex.
4. **pthread_mutex_destroy –** уничтожение mutex.
5. **pthread_mutex_lock –** блокировка части кода определенным потоком.
6. **pthread_mutex_unlock –** разблокировка части кода определенным потоком.

Общий метод и алгоритм решения.

Для реализации поставленной задачи необходимо:

1. Ввести размер массива строк
2. Аргументом исполняемого файла задать кол-во потоков (которое приведется к степени двойки (кроме 1).
3. Используя системный вызов fork создать дочерний процесс.
4. Исходный массив сортируется параллельной сортировкой слиянием.
5. Отсортированный массив выводится на стандартный поток вывода.

Тесты

Программа поддерживает один аргумент при запуске исполняемого файла – количество создаваемых threads.

Представлено среднее время работы алгоритма, использовалась библиотека: **«sys/time.h»**

Точность подсчета среднего значения до 3 знаков после запятой.

Относительная погрешность: 0.05 %

Абсолютная погрешность: 50 ms

Количество повторов одного теста: **10**

«Псевдоалгоритм»

Использование mutex для передачи индекса thread

Первый набор тестов

Входные параметры:

- Количество элементов в массиве: **1`000**
- Диапазон допустимых значений: **[0, 1000)**

test1: запуск с ключом «5» - 3.697 ms

test2: запуск с ключом «15» - 3.835 ms

test3: запуск с ключом «25» - 5.945 ms

test4: запуск с ключом «1» - 3.032 ms

test5: запуск с ключом «2» - 3.102 ms

Второй набор тестов

Входные параметры:

- Количество элементов в массиве: **100`000**
- Диапазон допустимых значений: **[0, 100`000)**

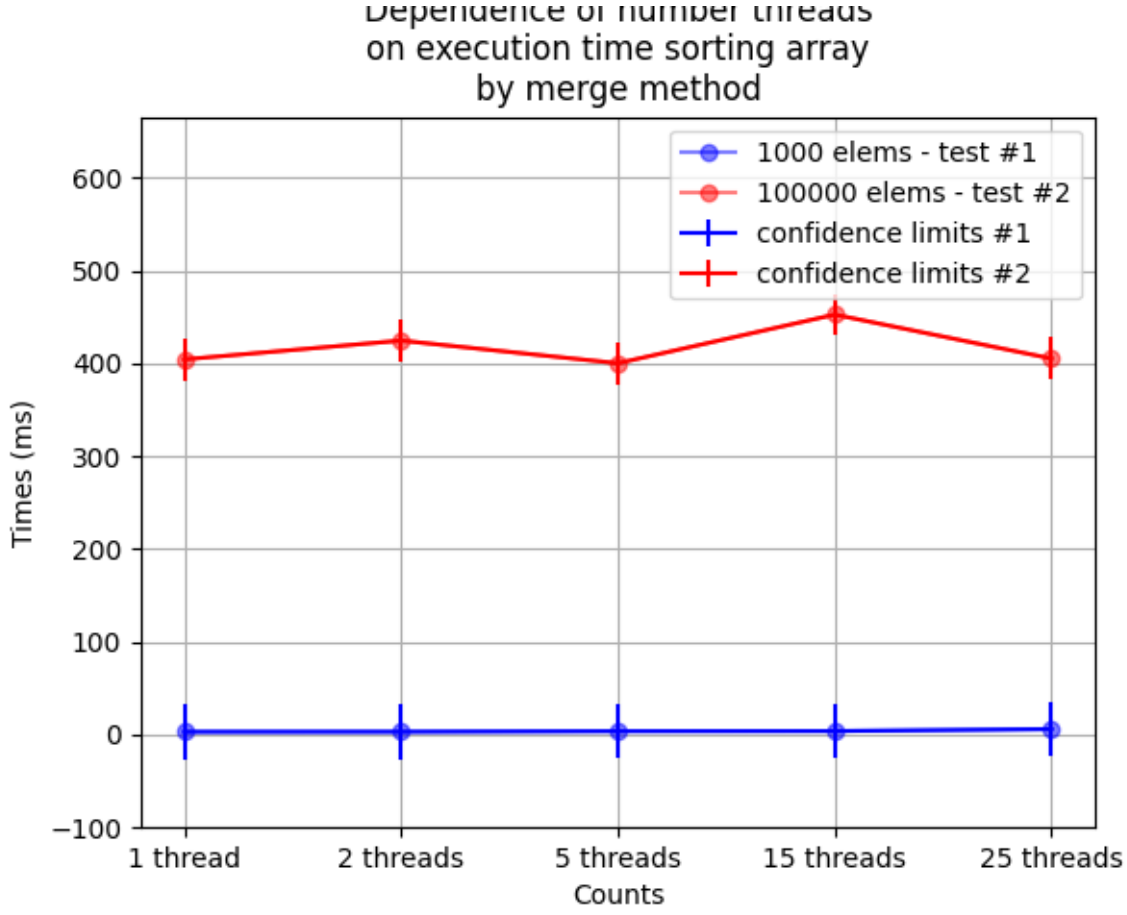
test1: запуск с ключом «5» - 400.045 ms

test2: запуск с ключом «15» - 452.451 ms

test3: запуск с ключом «25» - 405.115 ms

test4: запуск с ключом «1» - 424.439 ms

test5: запуск с ключом «2» - 404.212 ms



«Многопоточный алгоритм»

Использование адресной арифметики для передачи индекса thread

Первый набор тестов

Входные параметры файл gen_tests.txt:

- Количество элементов в массиве: **1`000`000**
- Диапазон допустимых значений: **[0, 1`000)**

Test1: запуск с ключом «1» - 0.332334 s

- Acceleration S(n)=T(1)/T(n): 0.497367
- Efficiency E(n)=S(n)/n=T(1)/(nT(n)): 0.497367

Test2: запуск с ключом «2» - 0.207382 s

- Acceleration S(n)=T(1)/T(n): 1.145283
- Efficiency E(n)=S(n)/n=T(1)/(nT(n)): 0.572641

Test3: запуск с ключом «5» - 0.100345 s

- Acceleration S(n)=T(1)/T(n): 1.835179
- Efficiency E(n)=S(n)/n=T(1)/(nT(n)): 0.367036

Test4: запуск с ключом «15» - 0.090462 s

- Acceleration S(n)=T(1)/T(n): 2.285236
- Efficiency E(n)=S(n)/n=T(1)/(nT(n)): 0.152349

Test5: запуск с ключом «25» - 0.107350 s

- Acceleration S(n)=T(1)/T(n): 1.532256
- Efficiency E(n)=S(n)/n=T(1)/(nT(n)): 0.061290

Test6: запуск без threads - 0.185292 s

Второй набор тестов

- Количество элементов в массиве: **1`000**
- Диапазон допустимых значений: **[0, 1`000`000)**

Test1: запуск с ключом «1» - 0.000648 s

- Acceleration S(n)=T(1)/T(n): 0.316358
- Efficiency E(n)=S(n)/n=T(1)/(nT(n)): 0.316358

Test2: запуск с ключом «2» - 0.000714 s

- Acceleration S(n)=T(1)/T(n): 0.140056
- Efficiency E(n)=S(n)/n=T(1)/(nT(n)): 0.070028

Test3: запуск с ключом «5» - 0.000832 s

- Acceleration S(n)=T(1)/T(n): 0.146635
- Efficiency E(n)=S(n)/n=T(1)/(nT(n)): 0.029327

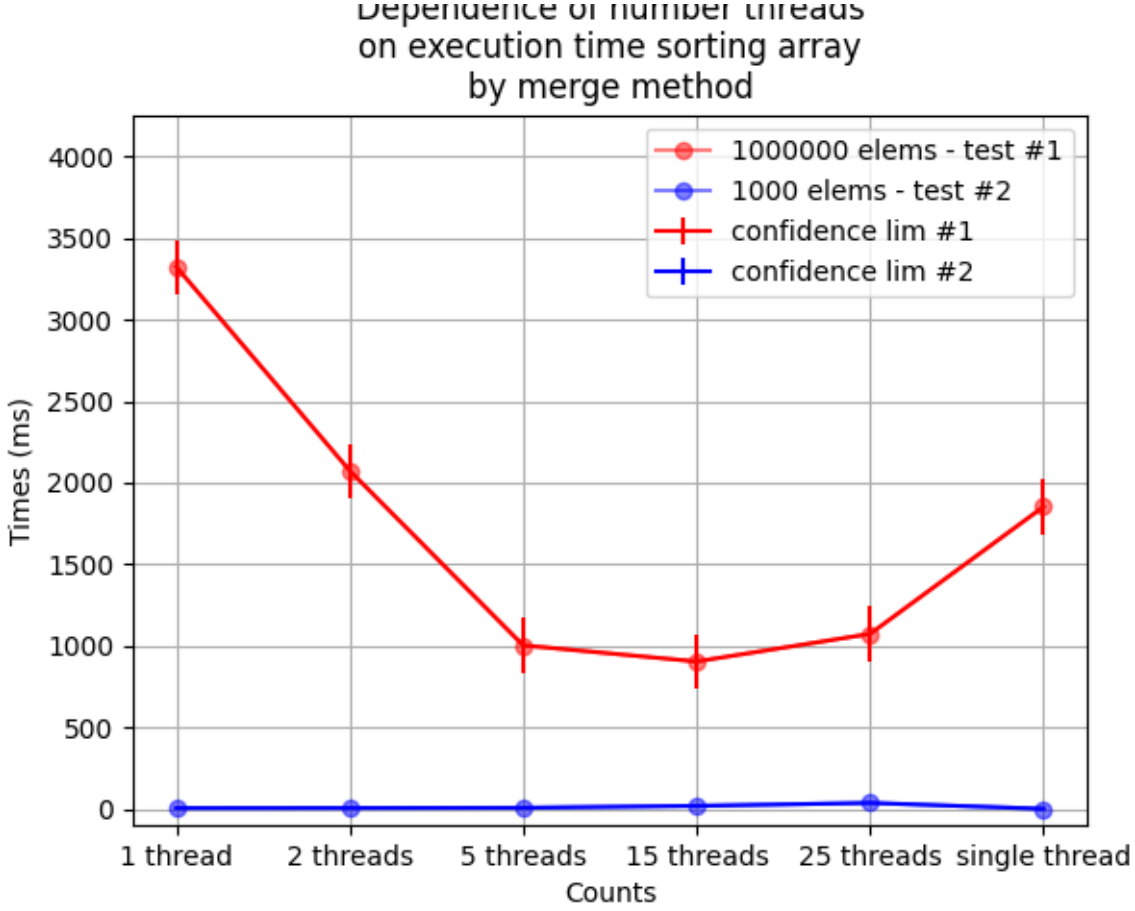
Test4: запуск с ключом «15» - 0.002012 s

- Acceleration S(n)=T(1)/T(n): 0.058151
- Efficiency E(n)=S(n)/n=T(1)/(nT(n)): 0.003877

Test5: запуск с ключом «25» - 0.003812 s

- Acceleration S(n)=T(1)/T(n): 0.027020
- Efficiency E(n)=S(n)/n=T(1)/(nT(n)): 0.001081

Test6: запуск без threads - 0.000205 s



Основные файлы программы

main.cpp:

```
#include <pthread.h>
#include <sys/time.h>
#include <fstream>
#include <string>
#include <stdlib.h>
#include <chrono>
#include <thread>

long int * g_size_arr = nullptr;
long int * g_num_threads = nullptr;
long int *arr = nullptr;
long int *arr_single_proc = nullptr;
```

```
void merge_sort(long int* arr, long int left, long int right);
void merge(long int* arr, long int left, long int middle, long int rig
ht);
void *thread_merge_sort(void* arg);
void merge_sections(long int* arr, long int num_thread, long int size_
sub_arr, long int aggregation);
void test_order(long int* arr, std::string msg);

int main(int argc, char *argv[]) {
    g_num_threads = new long int;
    *g_num_threads = atoi(argv[1]);

    g_size_arr = new long int;
    printf("\n\tCount elements:\t");
    // scanf("%ld", g_size_arr);
    *g_size_arr = 1000000;
    arr = new long int[*g_size_arr];
    arr_single_proc = new long int[*g_size_arr];

    long int size_sub_arr = *g_size_arr / *g_num_threads;
    struct timeval start, end;
    double time_spent, time_single_spent;

    std::ifstream in("gen_data.txt");

    std::string tmp;
    long int i;
    for (i = 0; i < *g_size_arr; ++i) {
        // arr[i] = std::to_string(rand() % 100000);
        getline(in, tmp);
        arr[i] = stoi(tmp);
```

```
        arr_single_proc[i] = arr[i];
    }
    in.close();

    // more proc
    pthread_t threads[*g_num_threads];
    gettimeofday(&start, NULL);
    for (i = 0; i < *g_num_threads; ++i) {
        int err = pthread_create(&threads[i], NULL, thread_merge_sort,
 (void *) i);
        if (err){
            printf("ERROR return code from pthread_create() is %d\n",
err);
            exit(-1);
        }
    }
    for(i = 0; i < *g_num_threads; ++i)
        pthread_join(threads[i], NULL);

    merge_sections(arr, *g_num_threads, size_sub_arr, 1);
    gettimeofday(&end, NULL);
    time_spent = ((double) ((double) (end.tv_usec - start.tv_usec) / 1
000000 + (double) (end.tv_sec - start.tv_sec)));
    printf("\n\tTime for %ld proccessing: %f s\n", *g_num_threads, tim
e_spent);

    test_order(arr, "multiproccessing");
    // my gun barrel overheated 5s
    std::this_thread::sleep_for(std::chrono::milliseconds(3000));

    // single proc
    gettimeofday(&start, NULL);
    merge_sort(arr_single_proc, 0, *g_size_arr);
```

```
    gettimeofday(&end, NULL);

    time_single_spent = ((double) ((double) (end.tv_usec - start.tv_us
ec) / 1000000 + (double) (end.tv_sec - start.tv_sec)));

    printf("\tTime for single proc: %f s\n", time_single_spent);


    test_order(arr_single_proc, "singleproccessing");


    // metrics

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

    printf("\tAcceleration S(n)=T(1)/T(n):         %f\n", time_single_
spent / time_spent);

    printf("\tEfficiency E(n)=S(n)/n=T(1)/(nT(n)): %f\n\n", time_singl
e_spent / (time_spent * (*g_num_threads)));


    printf("\n");

    delete g_size_arr;

    delete g_num_threads;

    delete[] arr;

    delete[] arr_single_proc;


    return 0;

}


void merge(long int* arr, long int left, long int middle, long int rig
ht) {

    long int k = 0;

    long int left_length = middle - left + 1;

    long int right_length = right - middle;

    long int left_array[left_length];

    long int right_array[right_length];

    long int i;

    long int j;

    for (i = 0; i < left_length; ++i)
```

```
        left_array[i] = arr[left + i];

    for (j = 0; j < right_length; ++j)
        right_array[j] = arr[middle + 1 + j];

    i = 0;
    j = 0;

    while (i < left_length && j < right_length) {
        if (left_array[i] <= right_array[j]) {
            arr[left + k] = left_array[i];
            ++i;
        } else {
            arr[left + k] = right_array[j];
            ++j;
        }
        ++k;
    }

    while (i < left_length) {
        arr[left + k] = left_array[i];
        ++k;
        ++i;
    }
    while (j < right_length) {
        arr[left + k] = right_array[j];
        ++k;
        ++j;
    }
}
```

```
void merge_sections(long int* arr, long int num_thread, long int size_
sub_arr, long int aggregation) {
    long int left;
    long int right;
    long int middle;
    for(long int i = 0; i < num_thread; i = i + 2) {
        left = i * (size_sub_arr * aggregation);
        right = left + ((i + 2) * size_sub_arr * aggregation) - 1;
        middle = left + (size_sub_arr * aggregation) - 1;
        if (right >= *g_size_arr) {
            right = *g_size_arr - 1;
        }
        merge(arr, left, middle, right);
    }
    if (num_thread / 2 >= 1) {
        merge_sections(arr, num_thread / 2, size_sub_arr, aggregation
* 2);
    }
}

void merge_sort(long int* arr, long int left, long int right) {
    long int middle;
    if (left < right) {
        middle = left + (right - left) / 2;
        merge_sort(arr, left, middle);
        merge_sort(arr, middle + 1, right);
        merge(arr, left, middle, right);
    }
}

void *thread_merge_sort(void* arg) {
    long int thread_id = (long int)arg;
```

```
    long int left = thread_id * (*g_size_arr / *g_num_threads);
    long int right = (thread_id + 1) * (*g_size_arr / *g_num_threads)
- 1;
    if (thread_id == *g_num_threads - 1)
        right += (*g_size_arr % *g_num_threads);
    long int middle = left + (right - left) / 2;
    if (left < right) {
        merge_sort(arr, left, right);
        merge_sort(arr, left + 1, right);
        merge(arr, left, middle, right);
    }
    pthread_exit(nullptr);
}

void test_order(long int* arr, std::string msg) {
    long int i;
    bool noerror = true;
    printf("\n\tTests: \n");
    for (i = 1; i < *g_size_arr; ++i) {
        if (arr[i] < arr[i-1]) {
            printf("[ %s ] Error index %ld: prev %ld > current %ld\n",
 msg.c_str(), i, arr[i-1], arr[i]);
            noerror = false;
        }
    }
    if (noerror)
        printf("\tArray is in sorted order\n");

    // for (i = 1; i < *g_size_arr; ++i) {
    //     printf("%ld\n", arr[i]);
    // }
}
```

Скрипт для получения графика:

graph.py

```
import numpy as np

import matplotlib.pyplot as plt

import pandas as pd

import matplotlib


df = pd.read_excel('result_tests.xlsx', 'Лист1', index_col=None,
na_values=['NA'])


x = df['time'][1:]

y1 = df['count elements'][1:]

y2 = df['Unnamed: 2'][1:]

>>>>>>> # перевод в секунды

y1 = [i*10000 for i in y1]

y2 = [i*10000 for i in y2]

<<<<<<< для второго набора

y1_max = max(y1)

y2_max = max(y2)

y_max = max(y1_max, y2_max)


y1_absolut_error = y1_max * 0.05

y2_absolut_error = y2_max * 0.05


# exit()

fig = plt.figure()

ax = fig.add_subplot(111)

>>>>>>>> для первого набора

ax.plot(x, y1, c='b', marker="o", alpha=0.5, label="1000 elems - test
#1")

ax.plot(x, y2, c='r', marker="o", alpha=0.5, label="100000 elems -
test #2")
```

```
ax.plot(x, y2, c='r', marker="o", alpha=0.5, label="1000000 elems - test #1")

ax.plot(x, y1, c='b', marker="o", alpha=0.5, label="1000 elems - test #2")

<<<<<<<< для второго набора

y1_err = np.linspace(y1_absolut_error, y1_absolut_error, len(x))

y2_err = np.linspace(y2_absolut_error, y2_absolut_error, len(x))

>>>>>>>> для первого набора

plt.errorbar(x, y1, yerr=y1_err, color='b', label='confidence lim #1')

plt.errorbar(x, y2, yerr=y2_err, c='r', label='confidence lim #2')
```

```
plt.errorbar(x, y2, yerr=y2_err, c='r', label='confidence lim #1')

plt.errorbar(x, y1, yerr=y1_err, color='b', label='confidence lim #2')

<<<<<<<< для второго набора

ax.grid()

ax.set_title('Dependence of number threads\non execution time sorting array\nby merge method')

plt.ylim(-100, y_max * 1.25 + 100)

plt.xlabel("Counts")

plt.ylabel("Times (ms)")

plt.legend()

plt.savefig('test1.png')

plt.show()
```

Скрипт для получения тестов:

gen_tests.py

```
import random

with open('gen_data.txt', 'w') as f:

    for count in range(2000000):

        num = random.randint(1, 1000)

        f.write(str(num))

        f.write("\n")
```

Вывод

В результате работы были приобретены навыки работы с многопоточностью, в первом варианте работы использовал mutex для синхронизации потоков. Во втором варианте – арифметика указателей и подсчет границ обработки входного массива для разных процессов. Получены результаты измерений времени работы программы при повторяющихся тестовых данных. Причем использование стандартной библиотеки time.h не привело к результату, так как на выход метод clock выдавал всегда 0. Причиной этому является малый техпроцесс у моего процессора Intel Core i7 1067 10th – составляет 13hm.