МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

**“Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики”**

**(НИУ ИТМО)**

**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

Факультет программной инженерии и компьютерной техники

Направление подготовки 09.04.04 Программная инженерия

**Лабораторная работа № 5**

**“ Параллельное программирование с использованием стандарта POSIX Threads”**

**По дисциплине “Параллельные вычисления”**

       Студент группы Р4114

Шитов Григорий

Семенович

         Преподаватель:

Жданов Андрей Дмитриевич

Санкт-Петербург, 2024 г.

Оглавление

[1. Описание решаемой задачи 3](#_Toc169797741)

[2. Краткая характеристика системы 4](#_Toc169797742)

[3. Программа lab4.c 5](#_Toc169797743)

[4. Полное время выполнения задачи 15](#_Toc169797744)

[5. Время на каждом этапе 16](#_Toc169797745)

[6. Сравнение количества строк 16](#_Toc169797746)

[7. Аспекты выясненные самостоятельно 16](#_Toc169797747)

[Выводы 17](#_Toc169797748)

1. Описание решаемой задачи

1. Взять в качестве исходной OpenMP-программу из ЛР №4, в которой распараллелены все этапы вычисления. Убедиться, что в этой программе корректно реализован одновременный доступ к общей переменной, используемой для вывода в консоль процента завершения программы.

2. Изменить исходную программу так, чтобы вместо OpenMP-директив применялся стандарт «POSIX Threads»:

* **для получения оценки «3»** достаточно изменить только один этап (Generate, Map, Merge, Sort), который является узким местом (bottleneck), а также функцию вывода в консоль процента завершения программы;
* **для получения оценки «4» и «5»** необходимо изменить всю программу, но допускается в качестве расписания циклов использовать «schedule static»;
* **для получения оценки «5»** необходимо хотя бы один цикл распараллелить, реализовав вручную расписание «schedule dynamic» или «schedule guided».

3. Провести эксперименты и по результатам выполнить сравнение работы двух параллельных программ («OpenMP» и «POSIX Threads»), которое должно описывать следующие аспекты работы обеих программ (для различных 𝑁):

* полное время решения задачи;
* параллельное ускорение;
* доля времени, проводимого на каждом этапе вычисления («нормированная диаграмма с областями и накоплением»);
* количество строк кода, добавленных при распараллеливании, а также грубая оценка времени, потраченного на распараллеливание (накладные расходы программиста);
* остальные аспекты, которые вы выяснили самостоятельно (обязательный пункт).

2. Краткая характеристика системы

Операционная система: Ubuntu 22.04

Процессор: AMD® Ryzen 3 2200u with radeon vega mobile gfx × 4

Оперативная память: 8ГБ

Количество физических ядер: 2

Количество логических ядер: 4

gcc version 11.4.0 (Ubuntu 11.4.0-1ubuntu1~22.04)

3. Программа lab4.c

#include <stdio.h>

#include <stdlib.h>

#include <sys/time.h>

#include <unistd.h>

#include <pthread.h>

#include "omp.h"

#define \_USE\_MATH\_DEFINES

#include <math.h>

typedef struct

{

    double \*M1;

    double \*M2;

    double \*M2temp;

    int N;

    int chunkSize;

    int threadId;

    int threadCount;

} ThreadArgs;

int percent;

double min;

pthread\_mutex\_t min\_mutex;

pthread\_mutex\_t sum\_mutex;

#define M1SIZE (N)

#define M2SIZE (N / 2)

double sum = 0;

void Generate(double \*M1, double \*M2, unsigned int seed, int N);

void Map(double \*M1, double \*M2, double \*M2temp, int N, int threadCount, int chunkSize);

void \*mapTask1(void \*arg);

void \*mapTask2(void \*arg);

void \*mapTask3(void \*arg);

void Merge(double \*M1, double \*M2, double \*M2temp, int N, int threadCount, int chunkSize);

void \*mergeTask(void \*arg);

void Reduce(double \*M1, double \*M2, double \*M2temp, int N, int threadCount, int chunkSize);

void \*reduceTask1(void \*arg);

void \*reduceTask2(void \*arg);

void sort(double \*M2, int chunkSize, int N, int threadCount, size\_t size);

void \*gnomeSort(void \*arg);

void CompJob();

int main(int argc, char \*argv[])

{

    int N, j;

    unsigned int seed;

    struct timeval T1, T2;

    long delta\_ms;

    N = atoi(argv[1]); // N равен первому параметру командной строки

    int threadCount = atoi(argv[2]);

    int chunkSize = M2SIZE / threadCount;

    // printf("%d\n%d\n", chunkSize, M2SIZE);

    double \*restrict M1 = (double \*)calloc(M1SIZE, sizeof(double));

    double \*restrict M2 = (double \*)calloc(M2SIZE, sizeof(double));

    double \*restrict M2temp = (double \*)calloc(M2SIZE, sizeof(double));

    FILE \*resultOfTest = fopen("Results/Results.txt", "a");

    pthread\_t \*compJobTh;

    pthread\_mutex\_init(&min\_mutex, NULL);

    pthread\_mutex\_init(&sum\_mutex, NULL);

    if (pthread\_create(&compJobTh, NULL, CompJob, percent) != 0)

    {

        printf("Error to create thread!\n");

        return 1;

    }

    gettimeofday(&T1, NULL); // запомнить текущее время T1

    for (percent = 0; percent < 100; percent++)

    {                             // 100 экспериментов

        seed = percent \* percent; // инициализировать начальное значение ГСЧ

        min = 10 \* 360 + 1;

        // Заполнить массив исходных данных размером N

        Generate(M1, M2, seed, N);

        // Решить поставленную задачу, заполнить массив с результатами

        Map(M1, M2, M2temp, N, threadCount, chunkSize);

        // Merge

        Merge(M1, M2, M2temp, N, threadCount, chunkSize);

        // Отсортировать массив с результатами указанным методомared(M1, N)

        sort(M2, chunkSize, N, threadCount, M2SIZE);

        // REDUCE

        Reduce(M1, M2, M2temp, N, threadCount, chunkSize);

        // printf("X: %lf\n", sum);

    }

    free(M1);

    free(M2);

    free(M2temp);

    gettimeofday(&T2, NULL); // запомнить текущее время T2

    delta\_ms = (T2.tv\_sec - T1.tv\_sec) \* 1000 +

               (T2.tv\_usec - T1.tv\_usec) / 1000;

    pthread\_join(compJobTh, NULL);

    printf("X: %lf\n", sum);

    printf("\nN=%d. Milliseconds passed: %ld\n\n", N, delta\_ms);

    fprintf(resultOfTest, "%ld\n", delta\_ms);

    fclose(resultOfTest);

    pthread\_mutex\_destroy(&min\_mutex);

    pthread\_mutex\_destroy(&sum\_mutex);

    pthread\_exit(NULL);

    return 0;

}

void Generate(double \*M1, double \*M2, unsigned int seed, int N)

{

    int j;

    for (j = 0; j < M1SIZE; j++)

    {

        M1[j] = 1 + rand\_r(&seed) % 360;

    }

    for (j = 0; j < M2SIZE; j++)

    {

        M2[j] = 360 + rand\_r(&seed) % (10 \* 360 - 361);

    }

}

void CompJob()

{

    while (1)

    {

        if (percent == 100)

        {

            printf("Job completed on %d% \n", percent);

            break;

        }

        printf("Job completed on %d% \n", percent);

        sleep(1);

    }

    return;

}

void Map(double \*M1, double \*M2, double \*M2temp, int N, int threadCount, int chunkSize)

{

    pthread\_t \*threads = (pthread\_t \*)malloc(threadCount \* sizeof(pthread\_t));

    ThreadArgs \*args = (ThreadArgs \*)malloc(threadCount \* sizeof(ThreadArgs));

    // Задача 1: Обработка M1

    for (int i = 0; i < threadCount; i++)

    {

        args[i].M1 = M1;

        args[i].M2 = NULL;

        args[i].M2temp = NULL;

        args[i].N = M1SIZE;

        args[i].chunkSize = chunkSize;

        args[i].threadId = i;

        args[i].threadCount = threadCount;

        pthread\_create(&threads[i], NULL, mapTask1, &args[i]);

    }

    for (int i = 0; i < threadCount; i++)

    {

        pthread\_join(threads[i], NULL);

    }

    // Задача 2: Копирование M2 в M2temp

    for (int i = 0; i < threadCount; i++)

    {

        args[i].M1 = NULL;

        args[i].M2 = M2;

        args[i].M2temp = M2temp;

        args[i].N = M2SIZE;

        args[i].chunkSize = chunkSize;

        args[i].threadId = i;

        args[i].threadCount = threadCount;

        pthread\_create(&threads[i], NULL, mapTask2, &args[i]);

    }

    for (int i = 0; i < threadCount; i++)

    {

        pthread\_join(threads[i], NULL);

    }

    // Задача 3: Обновление M2

    for (int i = 0; i < threadCount; i++)

    {

        args[i].M1 = NULL;

        args[i].M2 = M2;

        args[i].M2temp = M2temp;

        args[i].N = M2SIZE;

        args[i].chunkSize = chunkSize;

        args[i].threadId = i;

        args[i].threadCount = threadCount;

        pthread\_create(&threads[i], NULL, mapTask3, &args[i]);

    }

    for (int i = 0; i < threadCount; i++)

    {

        pthread\_join(threads[i], NULL);

    }

    free(threads);

    free(args);

}

void \*mapTask1(void \*arg)

{

    ThreadArgs \*args = (ThreadArgs \*)arg;

    int start = args->threadId \* args->chunkSize;

    int end = (args->threadId == args->threadCount - 1) ? args->N : (args->threadId + 1) \* args->chunkSize;

    for (int j = start; j < end; j++)

    {

        args->M1[j] = 1.0 / tanh(sqrt(args->M1[j]));

    }

    return NULL;

}

void \*mapTask2(void \*arg)

{

    ThreadArgs \*args = (ThreadArgs \*)arg;

    int start = args->threadId \* args->chunkSize;

    int end = (args->threadId == args->threadCount - 1) ? args->N : (args->threadId + 1) \* args->chunkSize;

    for (int j = start; j < end; j++)

    {

        args->M2temp[j] = args->M2[j];

    }

    return NULL;

}

void \*mapTask3(void \*arg)

{

    ThreadArgs \*args = (ThreadArgs \*)arg;

    int start = args->threadId \* args->chunkSize + 1;

    int end = (args->threadId == args->threadCount - 1) ? args->N : (args->threadId + 1) \* args->chunkSize;

    // if (args->threadId == args->threadCount - 1)

    // {

    //     printf("end of last chunk: %d\n", end);

    // }

    for (int j = start; j < end; j++)

    {

        args->M2[j] += args->M2temp[j - 1];

        args->M2[j] = sqrt(args->M2[j] \* exp(1));

    }

    return NULL;

}

void Merge(double \*M1, double \*M2, double \*M2temp, int N, int threadCount, int chunkSize)

{

    pthread\_t \*threads = (pthread\_t \*)malloc(threadCount \* sizeof(pthread\_t));

    ThreadArgs \*args = (ThreadArgs \*)malloc(threadCount \* sizeof(ThreadArgs));

    for (int i = 0; i < threadCount; i++)

    {

        args[i].M1 = M1;

        args[i].M2 = M2;

        args[i].M2temp = NULL;

        args[i].N = M2SIZE;

        args[i].chunkSize = chunkSize;

        args[i].threadId = i;

        args[i].threadCount = threadCount;

        pthread\_create(&threads[i], NULL, mergeTask, &args[i]);

    }

    for (int i = 0; i < threadCount; i++)

    {

        pthread\_join(threads[i], NULL);

    }

    free(threads);

    free(args);

}

void \*mergeTask(void \*arg)

{

    ThreadArgs \*args = (ThreadArgs \*)arg;

    int start = args->threadId \* args->chunkSize;

    int end = (args->threadId == args->threadCount - 1) ? args->N : (args->threadId + 1) \* args->chunkSize;

    for (int j = start; j < end; j++)

    {

        args->M2[j] = args->M1[j] / args->M2[j];

    }

    return NULL;

}

void Reduce(double \*M1, double \*M2, double \*M2temp, int N, int threadCount, int chunkSize)

{

    int j;

    pthread\_t \*threads = (pthread\_t \*)malloc(threadCount \* sizeof(pthread\_t));

    ThreadArgs \*args = (ThreadArgs \*)malloc(threadCount \* sizeof(ThreadArgs));

    for (int i = 0; i < threadCount; i++)

    {

        args[i].M1 = NULL;

        args[i].M2 = M2;

        args[i].M2temp = NULL;

        args[i].N = M2SIZE;

        args[i].chunkSize = chunkSize;

        args[i].threadId = i;

        args[i].threadCount = threadCount;

        pthread\_create(&threads[i], NULL, reduceTask1, &args[i]);

    }

    for (int i = 0; i < threadCount; i++)

    {

        pthread\_join(threads[i], NULL);

    }

    for (int i = 0; i < threadCount; i++)

    {

        args[i].M1 = NULL;

        args[i].M2 = M2;

        args[i].M2temp = M2temp;

        args[i].N = M2SIZE;

        args[i].chunkSize = chunkSize;

        args[i].threadId = i;

        args[i].threadCount = threadCount;

        pthread\_create(&threads[i], NULL, reduceTask2, &args[i]);

    }

    for (int i = 0; i < threadCount; i++)

    {

        pthread\_join(threads[i], NULL);

    }

    free(threads);

    free(args);

}

void \*reduceTask1(void \*arg)

{

    ThreadArgs \*args = (ThreadArgs \*)arg;

    int start = args->threadId \* args->chunkSize;

    int end = (args->threadId == args->threadCount - 1) ? args->N : (args->threadId + 1) \* args->chunkSize;

    double local\_min = args->M2[start];

    for (int j = start + 1; j < end; j++)

    {

        if (args->M2[j] < local\_min)

            local\_min = args->M2[j];

    }

    pthread\_mutex\_lock(&min\_mutex);

    if (local\_min < min)

    {

        min = local\_min;

    }

    pthread\_mutex\_unlock(&min\_mutex);

    return NULL;

}

void \*reduceTask2(void \*arg)

{

    ThreadArgs \*args = (ThreadArgs \*)arg;

    int start = args->threadId \* args->chunkSize;

    int end = (args->threadId == args->threadCount - 1) ? args->N : (args->threadId + 1) \* args->chunkSize;

    double local\_sum = 0;

    for (int j = start; j < end; j++)

    {

        if ((int)(args->M2[j] / min) % 2 == 0)

        {

            local\_sum += sin(args->M2[j]);

        }

    }

    pthread\_mutex\_lock(&sum\_mutex);

    sum += local\_sum;

    pthread\_mutex\_unlock(&sum\_mutex);

    return NULL;

}

void sort(double \*M2, int chunkSize, int N, int threadCount, size\_t size)

{

    pthread\_t \*threads = (pthread\_t \*)malloc(threadCount \* sizeof(pthread\_t));

    ThreadArgs \*args = (ThreadArgs \*)malloc(threadCount \* sizeof(ThreadArgs));

    for (int i = 0; i < threadCount; i++)

    {

        args[i].M1 = NULL;

        args[i].M2 = M2;

        args[i].M2temp = NULL;

        args[i].N = M2SIZE;

        args[i].chunkSize = chunkSize;

        args[i].threadId = i;

        args[i].threadCount = threadCount;

        pthread\_create(&threads[i], NULL, gnomeSort, &args[i]);

    }

    for (int i = 0; i < threadCount; i++)

    {

        pthread\_join(threads[i], NULL);

    }

    double temp[size];

    int i = 0, j = 0;

    for (int i = 0; i < size; i++)

    {

        if (i < chunkSize)

        {

            temp[i] = M2[i];

        }

        else

        {

            j = (i / chunkSize) \* chunkSize;

            while (j < (i / chunkSize + 1) \* chunkSize && i < size)

            {

                temp[i++] = M2[j++];

            }

        }

    }

    // Копирование отсортированного массива обратно в исходный

    for (int i = 0; i < size; i++)

    {

        M2[i] = temp[i];

    }

}

void \*gnomeSort(void \*arg)

{

    ThreadArgs \*args = (ThreadArgs \*)arg;

    int pos = 0;

    while (pos < args->chunkSize)

    {

        if (pos == 0 || (args->M2[pos + args->chunkSize \* args->threadId]) >= args->M2[pos + args->chunkSize \* args->threadId - 1])

        {

            pos++;

        }

        else

        {

            double temp = args->M2[pos + args->chunkSize \* args->threadId];

            args->M2[pos + args->chunkSize \* args->threadId] = args->M2[pos + args->chunkSize \* args->threadId - 1];

            args->M2[pos + args->chunkSize \* args->threadId - 1] = temp;

            pos--;

        }

    }

}

Листинг 1- Код программы lab4.c

4. Полное время выполнения задачи

Рисунок 1- Результаты выполнения программы с использованием OMP и Pthread

Можно сделать вывод о том, что pthread’ы дают большую производительность чем OMP, примерно в 2-3 раза, но их сложнее использовать.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Pthread | OMP |
| 750 | 80 | 118 |
| 2175 | 113 | 118 |
| 3600 | 146 | 161 |
| 5025 | 165 | 212 |
| 6450 | 204 | 299 |
| 7875 | 262 | 435 |
| 9300 | 309 | 657 |
| 10725 | 416 | 1053 |
| 12150 | 443 | 1090 |
| 13575 | 525 | 1377 |
| 15000 | 639 | 1622 |

Таблица 1- Результаты выполнения программы с использованием OMP и Pthread

5. Время на каждом этапе

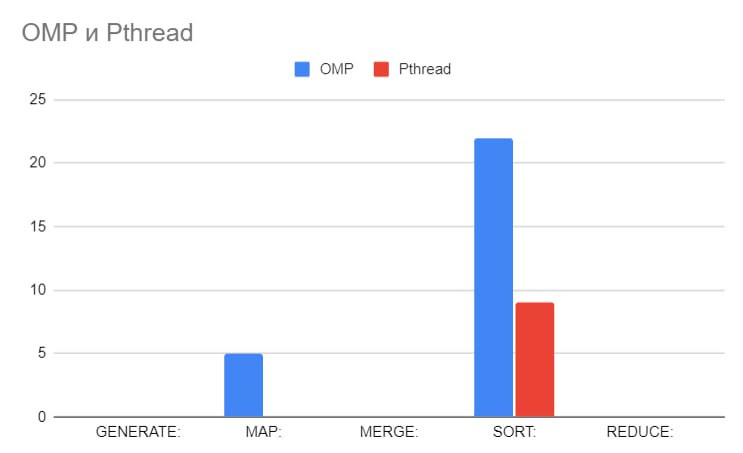


Рисунок 2 – Сравнение времени затрачиваемого на каждом этапе

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | OMP | Pthread |
| GENERATE: | 0 | 0 |
| MAP: | 5 | 0 |
| MERGE: | 0 | 0 |
| SORT: | 22 | 9 |
| REDUCE: | 0 | 0 |

Таблица 2 – Сравнение времени затрачиваемого на каждом этапе

6. Сравнение количества строк

В случае программы на OMP программа потребовала 242 строки, в случае же Pthread’s 500. Это может говорить о сложности написания алгоритма с использованием Pthreads

7. Аспекты выясненные самостоятельно

Как мне показалось Pthreads являются не столь универсальными как OMP, они сложнее и в реализации, и в чтении кода

Выводы

Писать на Pthreads сложно но выгодно.