Московский Авиационный Институт

(Национальный Исследовательский Университет)

Институт №8 “Компьютерные науки и прикладная математика”

Кафедра №806 “Вычислительная математика и программирование”

Лабораторная работа №2 по курсу

«Операционные системы»

Группа: М8О-216БВ-24

Студент: Лукиянчук А.О.

Преподаватель: Бахарев В.Д.

Оценка: _____

Дата: 23.12.25

Москва, 2025

Постановка задачи

Вариант 16

Составить программу на языке Си, обрабатывающую данные в многопоточном режиме. При обработке использовать стандартные средства создания потоков операционной системы (Windows/Unix). Ограничение максимального количества потоков, работающих в один момент времени, должно быть задано ключом запуска вашей программы.

Также необходимо уметь продемонстрировать количество потоков, используемое вашей программой с помощью стандартных средств операционной системы. В отчёте привести исследование зависимости ускорения и эффективности алгоритма от входных данных и количества потоков. Получившиеся результаты необходимо объяснить.

Задаётся радиус окружности. Необходимо с помощью метода Монте-Карло рассчитать её площадь.

Общий метод и алгоритм решения

Использованные системные вызовы и функции:

- int pthread_create(pthread_t* thread, const pthread_attr_t* attr, void* (*start_ro void* arg) – создает новый поток выполнения.
- int pthread_join(pthread_t thread, void** thread_return) – ожидает завершения указанного потока и получает его возвращаемое значение.
- int gettimeofday(struct timeval* tv, struct timezone* tz) – получает текущее вре- мя с микросекундной точностью.
- void exit(int status) – завершает выполнение процесса с указанным статусом.
- ssize_t write(int fd, const void* buf, size_t count) – записывает данные из бу- фера в файловый дескриптор.

Алгоритм метода Монте-Карло для вычисления площади окружности:

1. Известно, что окружность радиуса R вписана в квадрат со стороной 2R.
2. Площадь квадрата: $S_{кв} = (2R)2 = 4R2$.
3. Генерируем N случайных точек равномерно распределённых внутри квадрата.
4. Подсчитываем количество точек M , попавших внутрь окружности (удовлетворяющих условию $x2 + y2 \leq R2$).
5. Площадь окружности: $S = \pi R2$

Параллельная реализация:

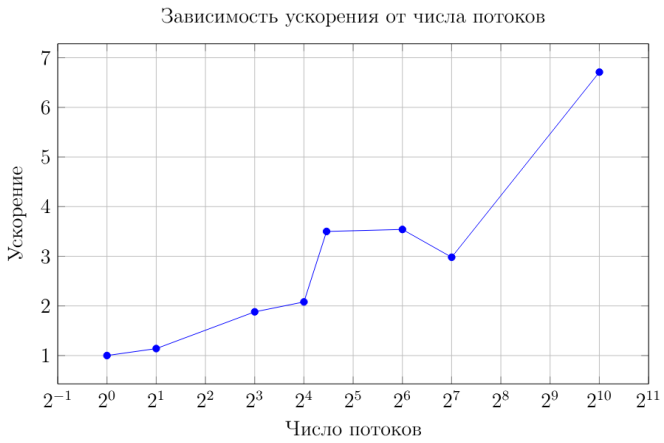
- Программа принимает три аргумента: количество потоков, общее количество точек и радиус окружности.
- Общее количество точек равномерно распределяется между потоками.
- Каждый поток использует свой линейный конгруэнтный генератор случайных чисел с уникальным seed для обеспечения независимости генерации.
- Каждый поток подсчитывает количество точек, попавших в окружность, на своей порции данных.
- Главный поток суммирует результаты всех потоков и вычисляет итоговую оценку площади.
- Измеряется время выполнения программы для анализа ускорения.

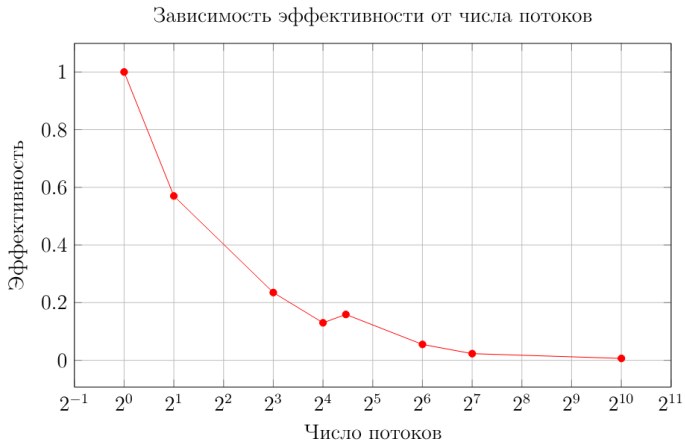
Анализ ускорения и эффективности:

Число потоков	Время исполнения (мс)	Ускорение	Эффективность	Погрешность
1	4836.350	1.00	1.00	0.000014
2	4226.966	1.14	0.57	0.000043
8	2570.958	1.88	0.235	0.000037
16	2321.788	2.08	0.130	0.000014
22	**1382.939**	**3.50**	**0.159**	**-0.000029**
64	1367.058	3.54	0.055	0.000011
128	1621.683	2.98	0.023	-0.000012
1024	721.318	6.71	0.0065	-0.000056

Ускорение показывает во сколько раз применение параллельного алгоритма уменьшает время решения задачи по сравнению с применением последовательного алгоритма. Ускорение определяется величиной SN = T1 / TN , где T1 – время выполнения на одном потоке, TN – время на N потоках.

Эффективность – величина EN = SN / N, где SN – ускорение, N – количество используемых потоков.





Анализ результатов:

Графики демонстрируют закон Амдала, который иллюстрирует ограничение роста производительности вычислительной системы с увеличением числа вычислителей. Наблюдаются следующие эффекты:

1. При увеличении числа потоков от 1 до 22 наблюдается значительный рост ускорения (до 3.5 раз). 2. При дальнейшем увеличении числа потоков до 64 ускорение продолжает расти, но медленнее. 3. При переходе к 128 потокам наблюдается снижение ускорения из- за накладных расходов на переключение контекстов между потоками. 4. При 1024 потоках ускорение резко возрастает до 6.71, что может объясняться особенностями планировщика ОС и использованием гиперпоточности процессора.

Эффективность использования потоков закономерно падает с увеличением их количе- ства, что соответствует теоретическим ожиданиям. Наилучший баланс между ускорением и эффективностью наблюдается при 8-22 потоках.

Код программы

[main.c]

```
#define _POSIX_C_SOURCE 200112L
#include <stdio.h>
#include <pthread.h>
#include <unistd.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include <sys/time.h>
#include "montecarlo.h"

#define PI 3.14159265358979323846

int main(int argc, char** argv) {
    if (argc != 4) {
        fprintf(stderr, "Usage: %s <max_threads> <total_points> <radius>\n", argv[0]);
        return 1;
    }

    struct timeval start, end;
    gettimeofday(&start, NULL);

    uint64_t max_threads = strtoull(argv[1], NULL, 10);
    uint64_t total_points = strtoull(argv[2], NULL, 10);
    double radius = strtod(argv[3], NULL);

    if (max_threads == 0 || total_points == 0 || radius <= 0) {
        fprintf(stderr, "Error: invalid parameters\n");
        return 1;
    }

    uint64_t points_per_thread = total_points / max_threads;
    uint64_t extra_points = total_points % max_threads;

    pthread_t* threads = malloc(sizeof(pthread_t) * max_threads);
    ThreadData* thread_data = malloc(sizeof(ThreadData) * max_threads);

    if (!threads || !thread_data) {
        fprintf(stderr, "Error: memory allocation failed\n");
        free(threads);
        free(thread_data);
        return 1;
```

```
    }

    uint32_t base_seed = time(NULL);

    for (uint64_t i = 0; i < max_threads; ++i) {
        thread_data[i].radius = radius;
        thread_data[i].points_per_thread = points_per_thread + (i < extra_points ? 1 :
0);
        thread_data[i].seed = base_seed + i;
        thread_data[i].hits = 0;
    }

    for (uint64_t i = 0; i < max_threads; ++i) {
        if (pthread_create(&threads[i], NULL, monte_carlo_thread, &thread_data[i]) !=
0) {
            fprintf(stderr, "Error creating thread %lu\n", i);
            for (uint64_t j = 0; j < i; ++j) {
                pthread_join(threads[j], NULL);
            }
            free(threads);
            free(thread_data);
            return 1;
        }
    }

    for (uint64_t i = 0; i < max_threads; ++i) {
        pthread_join(threads[i], NULL);
    }

    uint64_t total_hits = 0;
    for (uint64_t i = 0; i < max_threads; ++i) {
        total_hits += thread_data[i].hits;
    }

    double estimated_area = 4.0 * radius * radius * (double)total_hits / total_points;
    double exact_area = PI * radius * radius;

    printf("Radius: %.6f\n", radius);
    printf("Total points: %lu\n", total_points);
    printf("Points inside circle: %lu\n", total_hits);
    printf("Estimated area: %.6f\n", estimated_area);
    printf("Exact area: %.6f\n", exact_area);
    printf("Error: %.6f\n", estimated_area - exact_area);
    printf("Threads used: %lu\n", max_threads);

    gettimeofday(&end, NULL);
    long seconds = end.tv_sec - start.tv_sec;
    long microseconds = end.tv_usec - start.tv_usec;
    double elapsed_ms = seconds * 1000.0 + microseconds / 1000.0;
```

```
    printf("Execution time: %.3f ms\n", elapsed_ms);

    free(threads);
    free(thread_data);

    return 0;
}
[src/montecarlo.c]
#include "../include/montecarlo.h"
#include <stdint.h>

static uint32_t lcg(uint32_t* seed) {
    *seed = *seed * 1103515245 + 12345;
    return *seed;
}

void* monte_carlo_thread(void* arg) {
    ThreadData* data = (ThreadData*)arg;
    data->hits = 0;

    uint32_t seed = data->seed;

    for (uint64_t i = 0; i < data->points_per_thread; ++i) {
        double x = (double)lcg(&seed) / (1ULL << 32) * 2 * data->radius - data->radius;
        double y = (double)lcg(&seed) / (1ULL << 32) * 2 * data->radius - data->radius;

        if (x*x + y*y <= data->radius * data->radius) {
            data->hits++;
        }
    }

    return NULL;
}
[include/montecarlo.h]
#pragma once

#include <stdint.h>
#include <pthread.h>

typedef struct {
    uint64_t points_per_thread;
    double radius;
    uint32_t seed;
    uint64_t hits;
} ThreadData;

void* monte_carlo_thread(void* arg);
[Makefile]
CC = gcc
```

```
CFLAGS = -I./include -Wall -Wextra -O2 -pthread -D_POSIX_C_SOURCE=200112L
LDFLAGS = -pthread -lm

TARGET = main
SRCS = main.c src/montecarlo.c
OBJS = $(SRCS:.c=.o)

all: $(TARGET)

$(TARGET): $(OBJS)
	$(CC) -o $@ $^ $(LDFLAGS)

%.o: %.c
	$(CC) $(CFLAGS) -c $< -o $@

clean:
	rm -f $(OBJS) $(TARGET)

run: all
	./$(TARGET) 4 1000000 1.0

.PHONY: all clean run
```

Протокол работы программы

Тестирование:

```
[18:12:17] → lab2 ./montecarlo 1 1000000000 1.0
Radius: 1.000000
Total points: 1000000000
Points inside circle: 785401633
Estimated area: 3.141607
Exact area: 3.141593
Error: 0.000014
Threads used: 1
Execution time: 4836.350 ms
[18:14:26] → lab2 ./montecarlo 22 1000000000 1.0
Radius: 1.000000
Total points: 1000000000
Points inside circle: 785390915
Estimated area: 3.141564
Exact area: 3.141593
Error: -0.000029
Threads used: 22
Execution time: 1382.939 ms
```

```
[18:16:28] → lab2 ./montecarlo 1024 1000000000 1.0
     Radius: 1.000000
     Total points: 1000000000
     Points inside circle: 785384097
     Estimated area: 3.141536
     Exact area: 3.141593
     Error: -0.000056
     Threads used: 1024
     Execution time: 721.318 ms
```

Вывод

В ходе выполнения лабораторной работы были изучены и применены основные средства работы с потоками в ОС Linux с использованием библиотеки pthreads. Была создана программа, реализующая параллельный алгоритм метода Монте-Карло для вычисления площади окружности.

В процессе работы были исследованы зависимости ускорения и эффективности алгоритма от количества потоков. Результаты подтвердили действие закона Амдала: с увеличением числа потоков ускорение растёт, но эффективность использования каждого дополнительного потока снижается. Наилучшие показатели ускорения были достигнуты при использовании 22-64 потоков, однако эффективность при этом существенно падала.

Возникшие сложности включали необходимость обеспечения независимости генераторов случайных чисел в разных потоках и корректного распределения нагрузки. Эти проблемы были успешно решены путём использования уникальных seed для каждого потока и равномерного распределения точек.

Работа позволила получить практические навыки создания многопоточных приложений, измерения их производительности и анализа полученных результатов, что является важным для разработки эффективных параллельных алгоритмов.