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-211БВ-24

Студент: Губеев Д.И.

Преподаватель: Бахарев В.Д.

Оценка: _____

Дата: 02.10.25

Москва, 2025

Постановка задачи

Вариант 10.

Решить систему линейных уравнений методом Гаусса.

Общий метод и алгоритм решения

Использованные системные вызовы:

- ssize_t read(int fd, void *buf, size_t count) - читает данные из файла по дескриптору fd в буфер buf. Возвращает количество прочитанных байт
- ssize_t write(int fd, const void *buf, size_t count) - записывает данные в файл по дескриптору fd. Возвращает число записанных байт
- int open(const char *pathname, int flag, mode_t mode) - Открывает файл, возвращает файловый дескриптор
- int close(int fd) - закрываает файловый дескриптор
- int pthread_create(pthread_t *thread, const pthread_attr_t *attr, void *(*work)(void*), void *arg) - создает новый поток с заданными атрибутами, который начинает выполнение функции work. Возвращает 0 при успехе, либо код ошибки при неудаче
- int pthread_join(pthread_t thread, void **retval) - ожидает завершения указанного потока. Поток, вызвавший pthread_join, блокируется до завершения thread.
- int pthread_mutex_lock(pthread_mutex_t *mutex) - блокирует мьютекс. Если он уже заблокирован, поток ожидает, пока мьютекс не освободится. Используется для предотвращения состояния гонки.
- int pthread_mutex_unlock(pthread_mutex_t *mutex) - разблокирует мьютекс, позволяя другим потокам продолжить работу с разделяемыми данными.
- int pthread_mutex_init(pthread_mutex_t *mutex, const pthread_mutexattr_t *attr) - инициализирует мьютекс перед использованием.
- int pthread_mutex_destroy(pthread_mutex_t *mutex) - уничтожает мьютекс и освобождает связанные с ним ресурсы.
- int pthread_cond_wait(pthread_cond_t *cond, pthread_mutex_t *mutex) - приостанавливает поток, ожидая сигнала от другой части программы через условную переменную cond. При этом временно отпускает мьютекс и снова захватывает его после пробуждения.
- int pthread_cond_broadcast(pthread_cond_t *cond) - пробуждает все потоки, ожидающие на условной переменной cond.
- int pthread_cond_init(pthread_cond_t *cond, const pthread_condattr_t *attr) - инициализирует условную переменную.
- int pthread_cond_destroy(pthread_cond_t *cond) - освобождает ресурсы условной переменной.

Читается матрица из файла и столбец свободных членов. Затем создаются потоки и решают СЛАУ методом Гаусса.

Для прямого хода первый поток находит строку, которая будет обнулять остальные в данном столбце. Далее множество потоков параллельно обнуляет данный столбец в каждой строке. Так делается до тех пор, пока матрица не будет приведена к ступенчатому виду.

В обратном ходе первый поток находит первую ненулевую ячейку в данной строке и делит строку на значение в этой ячейке(чтобы коэффициент в ячейке был равен одному). Далее потоки параллельно обнуляют ячейки во всех строках в данном столбце.

После этого выводится решение в результирующий массив. Потоки параллельно проходятся по столбцам, находят строку соответствующую корню данного столбца, и записывают решение.

Код программы

main_with_threads.c

```c
#include <stdio.h>

#include <stdlib.h>

#include <math.h>

#include <pthread.h>

#include <stdbool.h>

#include <unistd.h>

#include <sys/wait.h>

#include <sys/stat.h>

#include <fcntl.h>

#include <ctype.h>

#include <stdint.h>

#include <string.h>

#include <sys/time.h>



#define EPSILON 1e-9

#define MAX_THREAD_NUM 5000



static pthread_mutex_t mutex = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;

typedef struct {

    pthread_mutex_t mutex; // Мьютекс для защиты данных барьера
```

```
    pthread_cond_t cond;   // Условная переменная для ожидания
    int count;             // Текущий счётчик достигших потоков
    int total;             // Общее количество потоков для барьера
} Barrier;

typedef struct {
    double **matrix;
    int rows;
    int cols;
    double *b;
    double *solution;
    int threadNum;
    int threadID;
    double **mergedMatrix;
    bool *pivotIsFound;
    int *colForReverse;
    Barrier *barrier;
} ThreadArgs;



void barrier_wait(Barrier *barrier) {
    pthread_mutex_lock(&barrier->mutex);
    barrier->count++;

    if (barrier->count < barrier->total) {
        // Поток ждёт, пока все не достигнут барьера
        pthread_cond_wait(&barrier->cond, &barrier->mutex);
    } else {
```

```
        // Последний поток уведомляет все ждущие
        barrier->count = 0; // Сбрасываем счётчик для следующего использования
        pthread_cond_broadcast(&barrier->cond);
    }

    pthread_mutex_unlock(&barrier->mutex);
}



void *solveWithGauss(void * _args) {
    ThreadArgs *args = (ThreadArgs *)_args;
    double **matrix = args->matrix;
    int rows = args->rows;
    int cols = args->cols;
    double *b = args->b;
    double *solution = args->solution;
    double **merged = args->mergedMatrix;
    cols++;

    size_t rowI = 0;
    size_t iterations = rows < cols ? rows : cols;
    for (size_t i = 0; i < iterations; i++)
    {
        barrier_wait(args->barrier);

        pthread_mutex_lock(&mutex);

        if (args->threadID == 0) {
            *(args->pivotIsFound) = false;
```

```
            for (size_t row = rowI; row < rows; row++)
            {
                if (fabs(merged[row][i]) >= EPSILON) {
                    double * tmp = merged[rowI];
                    merged[rowI] = merged[row];
                    merged[row] = tmp;
                    *(args->pivotIsFound) = true;
                    break;
                }
            }
        }

        pthread_mutex_unlock(&mutex);
        barrier_wait(args->barrier);

        if (!(*(args->pivotIsFound))) {
            continue;
        }

        for (size_t row = rowI + 1 + args->threadID; row < rows; row += args->threadNum)
        {
            if (fabs(merged[row][i]) < EPSILON) {
                merged[row][i] = 0;
                continue;
            }
            double toSubtract = merged[row][i] / merged[rowI][i];
            merged[row][i] = 0;
            for (size_t col = i + 1; col < cols; col++)
```

```
            {
                merged[row][col] -= merged[rowI][col] * toSubtract;
            }

        }
        rowI++;

        barrier_wait(args->barrier);
    }

    if (rowI == 0) {
        rowI = 1;
    }
    for (int i = rowI - 1; i >= 0; i--)
    {
        pthread_mutex_lock(&mutex);

        if (args->threadID == 0) {
            for (size_t col = 0; col < cols; col++)
            {
                if (fabs(merged[i][col]) >= EPSILON) {
                    *(args->colForReverse) = col;

                    break;
                }
            }
        }

        pthread_mutex_unlock(&mutex);
```

```
    barrier_wait(args->barrier);

    int col = *(args->colForReverse);
    if (col == cols - 1) {
        return NULL; // NO SOLUTION
    }

    pthread_mutex_lock(&mutex);
    if (args->threadID == 0) {
        merged[i][cols - 1] /= merged[i][col];
        merged[i][col] = 1;
    }
    pthread_mutex_unlock(&mutex);

    barrier_wait(args->barrier);

    for (size_t row = args->threadID; row < i; row += args->threadNum)
    {
        merged[row][cols - 1] -= merged[row][col] * merged[i][cols - 1];
        merged[row][col] = 0;
    }

    barrier_wait(args->barrier);
}

for (size_t i = args->threadID; i < cols - 1; i += args->threadNum)
{
    bool foundRow = false;
```

```
        for (int row = i; row >= 0; row--)
        {
            if (merged[row][i] != 0) {
                solution[i] = merged[row][cols - 1];
                foundRow = true;
                break;
            }
        }

        if (!foundRow) {
            solution[i] = 0;
        }
    }
}

void initMergedMatrix(ThreadArgs *args) {
    int rows = args->rows;
    int cols = args->cols;
    double **matrix = args->matrix;
    double *b = args->b;

    args->mergedMatrix = (double **)malloc(sizeof(double *) * rows);
    cols++;

    for (size_t i = 0; i < rows; i++)
    {
        args->mergedMatrix[i] = (double *)malloc(sizeof(double) * cols);
    }
```

```
    for (size_t row = 0; row < rows; row++)
    {
        for (size_t col = 0; col < cols - 1; col++)
        {
            args->mergedMatrix[row][col] = matrix[row][col];
        }
    }



    for (size_t row = 0; row < rows; row++)
    {
        args->mergedMatrix[row][cols - 1] = b[row];
    }
}


double solve(ThreadArgs *args) {
    double **matrix = args->matrix;
    int rows = args->rows;
    int cols = args->cols;
    double *b = args->b;
    double *solution = args->solution;
    int threadNum = args->threadNum;
    initMergedMatrix(args);
    double **mergedMatrix = args->mergedMatrix;


    bool pivotIsFound = false;
    int colForReverse = -1;


    pthread_t *threads = (pthread_t *)malloc(threadNum * sizeof(pthread_t));
```

```
    ThreadArgs *threadArgs = (ThreadArgs *)malloc(threadNum * sizeof(ThreadArgs));
    Barrier barrier;
    pthread_mutex_init(&barrier.mutex, NULL);
    pthread_cond_init(&barrier.cond, NULL);
    barrier.count = 0;
    barrier.total = threadNum;

    struct timeval start, end;

    gettimeofday(&start, NULL);
    for (size_t i = 0; i < threadNum; i++)
    {
        threadArgs[i] = (ThreadArgs) {
            .matrix = matrix,
            .rows = rows,
            .cols = cols,
            .b = b,
            .solution = solution,
            .threadNum = threadNum,
            .threadID = i,
            .mergedMatrix = mergedMatrix,
            .pivotIsFound = &pivotIsFound,
            .colForReverse = &colForReverse,
            .barrier = &barrier,
        };

        pthread_create(&threads[i], NULL, solveWithGauss, &threadArgs[i]);
    }
```

```
    for (size_t i = 0; i < threadNum; i++)
    {
        pthread_join(threads[i], NULL);
    }

    gettimeofday(&end, NULL);

    pthread_mutex_destroy(&barrier.mutex);
    pthread_cond_destroy(&barrier.cond);
    free(threadArgs);
    free(threads);
    for (size_t k = 0; k < rows; k++)
    {
        free(mergedMatrix[k]);
    }
    free(mergedMatrix);
    double elapsed = (end.tv_sec - start.tv_sec) + (end.tv_usec - start.tv_usec) / 1e6;

    return elapsed;
}

void printUsage() {
    const char msg[] = "Использование: ./main.out <количество потоков> <входной файл> <файл для вывода решения>\n";
    write(STDERR_FILENO, msg, strlen(msg));
}

void writeToConsole(const char *msg) {
    write(STDOUT_FILENO, msg, strlen(msg));
```

```
}



void quit(const char *msg) {
    write(STDERR_FILENO, msg, strlen(msg));
    exit(EXIT_FAILURE);
}



int main(int argc, char *argv[]) {
    if (argc != 4) {
        printUsage();
        exit(EXIT_FAILURE);
    }

    char *endptr;
    long _threadNum = strtol(argv[1], &endptr, 10);

    if (*endptr != '\0') {
        printUsage();
        exit(EXIT_FAILURE);
    }

    if (_threadNum < 1 || _threadNum > MAX_THREAD_NUM) {
        quit("Количество потоков должно быть в диапазоне от 1 до 5000
включительно\n");
    }

    int threadNum = (int)_threadNum;
```

```
    int32_t file = open(argv[2], O_RDONLY);
    if (file == -1) {
        quit("Ошибка: не удалось открыть входной файл\n");
    }


    int32_t fileSol = open(argv[3], O_WRONLY | O_CREAT | O_TRUNC | O_APPEND,
0600);
    if (fileSol == -1) {
        quit("Ошибка: не удалось открыть файл для вывода решения\n");
    }

    struct stat st;
    fstat(file, &st);

    off_t fsize = st.st_size;


    char *buffer = malloc((size_t)fsize + 1);

    size_t offset = 0;
    while (offset < fsize) {
        ssize_t bytes_read = read(file, buffer + offset, fsize - offset);
        if (bytes_read < 0) {
            close(file);
            free(buffer);
            quit("Ошибка: не удалось прочитать входной файл\n");
        }
```

```
        if (bytes_read == 0) break;
        offset += (size_t)bytes_read;
    }
    close(file);
    buffer[offset] = '\0';

    long _rows = strtol(buffer, &endptr, 10);

    long _cols = strtol(endptr, &endptr, 10);

    int rows = (int)_rows;
    int cols = (int)_cols;
    double ** matrix = (double **)malloc(sizeof(double *) * rows);
    for (size_t i = 0; i < rows; i++)
    {
        matrix[i] = (double *)malloc(sizeof(double) * cols);
    }

    double *b = (double *)malloc(sizeof(double) * rows);
    double *solution = (double *)malloc(sizeof(double) * cols);

    char * p = endptr;
    for (int i = 0; i < rows; i++)
    {
        for (int j = 0; j < cols + 1; j++)
        {
            double val = strtod(p, &endptr);
            if (p == endptr) {
                quit("Ошибка: недостаточно чисел в файле");
```

```
            }
            if (j == cols)
                b[i] = val;
            else
                matrix[i][j] = val;
            p = endptr;
        }
    }
    ThreadArgs args;
    args.matrix = matrix;
    args.b = b;
    args.rows = rows;
    args.cols = cols;
    args.solution = solution;
    args.threadNum = threadNum;
    double time = solve(&args);

    const char msg[] = "solution:\n";
    write(fileSol, msg, strlen(msg));
    if (solution == NULL) {
        writeToConsole("No solution\n");
    } else {
        char buf[64];

        for (size_t i = 0; i < cols; i++)
        {
            int len = snprintf(buf, sizeof(buf), "%lf ", solution[i]);
            write(fileSol, buf, len);
```

```
            if ((i + 1) % 5 == 0) {
                write(fileSol, "\n", 1);
            }
        }
    }

    char buf[1024];
    int len = snprintf(buf, sizeof(buf), "Количество потоков: %d\n", threadNum);
    write(STDOUT_FILENO, buf, len);

    len = snprintf(buf, sizeof(buf), "Размер массива: %dx%d\n", rows, cols);
    write(STDOUT_FILENO, buf, len);

    len = snprintf(buf, sizeof(buf), "Затраченное время: %lfc\n", time);
    write(STDOUT_FILENO, buf, len);

    close(fileSol);
}
```

Протокол работы программы

Входные данные: Большой массив и вектор свободных членов

Выходные данные:

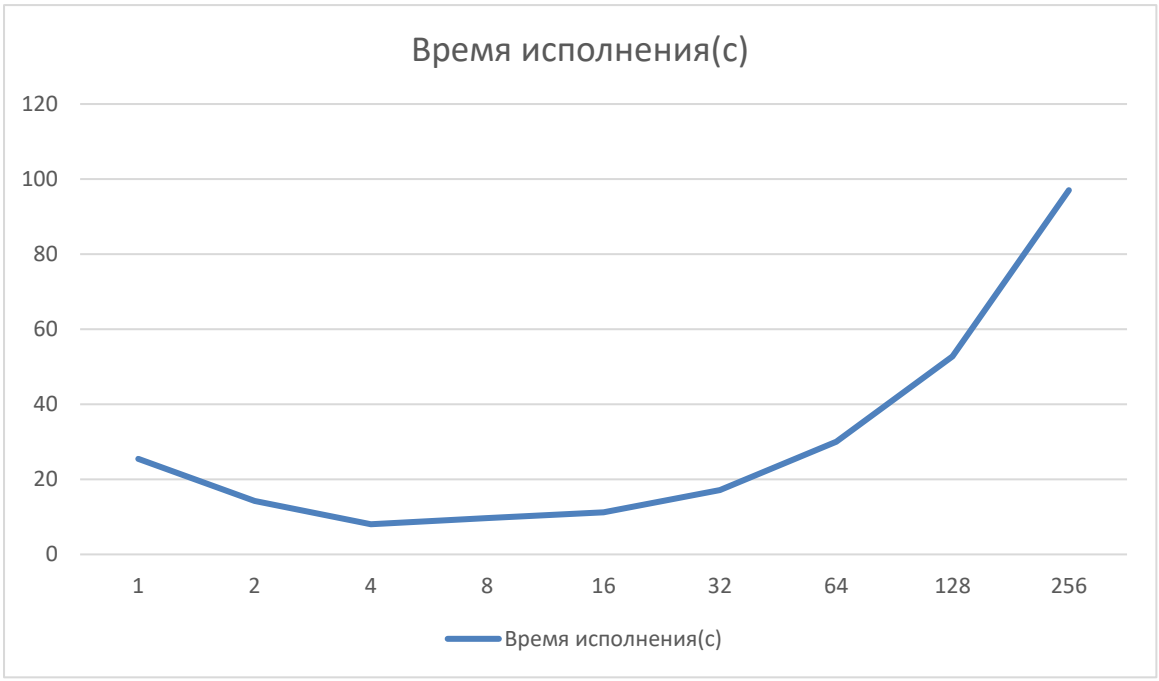
Количество потоков: 1
Размер массива: 3000x3000
Затраченное время: 25.478508c
—----------
Количество потоков: 2
Размер массива: 3000x3000
Затраченное время: 14.226613c
—----------
Количество потоков: 4
Размер массива: 3000x3000
Затраченное время: 8.039504c
—----------
Количество потоков: 4
Размер массива: 5000x5000
Затраченное время: 33.592541c
—----------
Количество потоков: 8
Размер массива: 5000x5000
Затраченное время: 29.023236c

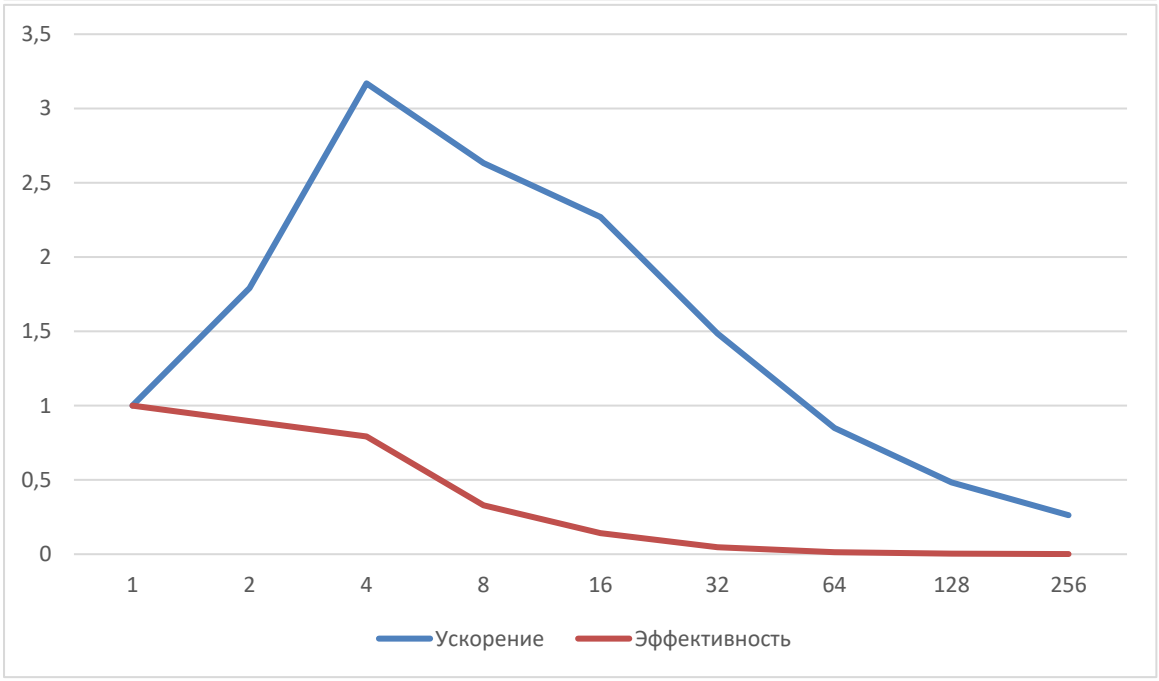
Вывод

При выполнении данной лабораторной работы я научился работать с потоками. Увидел на практике, как контролировать поведение потоков мьютексами и барьерами. Получены следующие таблица и графики измерений:

Число потоков	**Время исполнения (мс)**	**Ускорение**	**Эффективность**
1	25478.508	1.00	1.00
2	14226.613	1.79	0.90
4	8039.504	3.17	0.79
8	9678.120	2.63	0.33
16	11225.562	2.27	0.14
32	17155.895	1.49	0.047

64	30009.268	0.85	0.013
128	52758.620	0.48	0.004
256	97038.930	0.26	0.001





Ускорение: T1 / Tn, где T1 - время выполнения одним потоком, Tn - время выполнения с n потоками

Эффективность: Ускорение / n, где n - количество потоков

Анализ результатов:

1. **Количество потоков меньше логических ядер процессора (1-8)**

При увеличении числа потоков от 1 до 4 наблюдается ускорение:

- Потоки получают отдельные физические ядра и выполняются параллельно.
- Потери времени минимальны, влияние синхронизации и мьютексов не так значительно
- Накладные расходы минимальны

При чисел потоков от 4 до 16 наблюдается замедление:

- Синхронизация с мьютексами и барьерами замедляет работу
- Накладные расходы превышают пользу от увеличенного количества потоков.

Вывод:

При небольшом числе потоков, меньшем количества логических и физических ядер, наблюдается максимальная эффективность от их использования. Соблюдается баланс между накладными расходами и пользой от параллельной работы с данными

2. Количество потоков равно числу логических ядер (16)

При переходе от 4 к 16 потокам ускорение падает:

- Логические ядра заняты, но прироста нет из-за сильной синхронизации
- Большое количество накладных расходов.
- Тем не менее время исполнения меньше, чем при последовательной работе

Вывод:

При числе потоков, равном логическим ядрам, наблюдается снижение эффективности по сравнению с меньшим количеством потоков. Накладные расходы от дополнительных потоков превышают их пользу

3. Количество потоков больше логических ядер(32-256)

- **При 32 потоках ускорение снижается, но скорость все еще выше, чем при однопоточной работе**
- **При 64 потоках и выше программа начинает работать еще медленнее, чем при одном потоке:**
    - ОС вынуждена постоянно переключать контекст между большим количеством потоков
    - Синхронизация большого количества потоков сильно замедляет код
    - Накладные расходы на работу с потоками превышают пользу от них.

Вывод:

При числе потоков больше количества логических ядер производительность снижается. Система перегружена планированием и синхронизацией потоков, и их слишком много для эффективной параллельной работы.