

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-214БВ-24

Студент: Дробышев Е.П.

Преподаватель: Бахарев В.Д.

Оценка: \_\_\_\_\_

Дата: 30.10.25

Москва, 2025

# Постановка задачи

## Вариант 6.

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.

Так же необходимо уметь продемонстрировать количество потоков, используемое вашей программой с помощью стандартных средств операционной системы.

В отчете привести исследование зависимости ускорения и эффективности алгоритма от входных данных и количества потоков. Получившиеся результаты необходимо объяснить.

Произвести перемножение 2-ух матриц, содержащих комплексные числа.

## Общий метод и алгоритм решения

### Использованные системные вызовы:

- **ssize\_t write(int fd, void \*buf, size\_t count)** – записывает файлы из буфера в файловый дескриптор.
- **void exit (int status)** – завершения выполнения процесса и возвращение статуса.
- **int clock\_gettime(clockid\_t clock\_id, struct timespec \*tp)** – получает текущее время выбранных часов.
- **int sem\_init(sem\_t \*, int, unsigned int)** – инициализирует семафора.
- **int sem\_wait(sem\_t \*)** – уменьшает значение семафора на 1 (ожидает, если оно равно 0).
- **int pthread\_create(pthread\_t \*thread, const pthread\_attr\_t \*attr, void \*(\*start\_routine)(void \*), void \*arg)** – создаёт новый поток выполнения.
- **int pthread\_join(pthread\_t thread, void \*\*retval)** – ожидает завершения указанного потока.
- **int sem\_destroy (sem\_t \*sem)** – уничтожает неименованный семафор, созданный с помощью `sem_init`.

### Алгоритм решения:

Программа получает на вход два аргумента командной строки — размер квадратных матриц и максимальное число потоков. После проверки корректности данных выделяется память под три матрицы комплексных чисел: A, B и C. Матрицы A и B заполняются случайными значениями с вещественной и мнимой частями.

Сначала выполняется последовательное умножение матриц: каждый элемент матрицы C вычисляется как сумма произведений соответствующих элементов строк A и столбцов B. Время выполнения фиксируется с помощью системного таймера.

Затем запускается параллельный алгоритм. Создаётся семафор, ограничивающий число одновременно работающих потоков. Каждый поток получает часть строк матрицы A и умножает их на столбцы матрицы B. После завершения своих вычислений поток

освобождает семафор. Главный поток ожидает завершения всех рабочих потоков при помощи `pthread_join`.

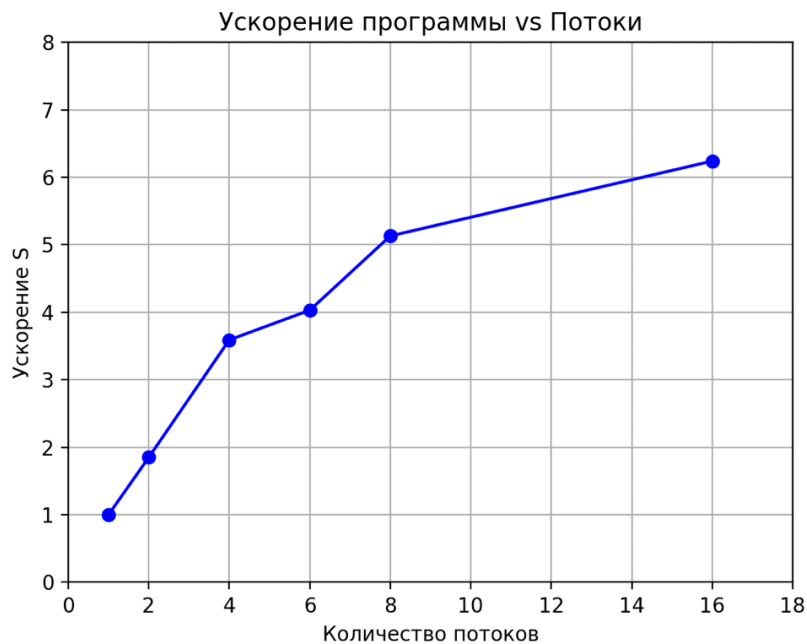
После выполнения измеряется время параллельного алгоритма. В конце программа освобождает память и завершает работу.

### Анализ метрик ускорения и эффективности

Число потоков	Время исполнения (мс)	Ускорение	Эффективность
1	9.887	1	1
2	5.34	1.85	0.925
4	2.755	3.59	0.898
6	2.455	4.03	0.672
8	1.926	5.13	0.641
16	1.584	6.24	0.39
128	3.854	2.57	0.02
1024	26.749	0.37	0.0004

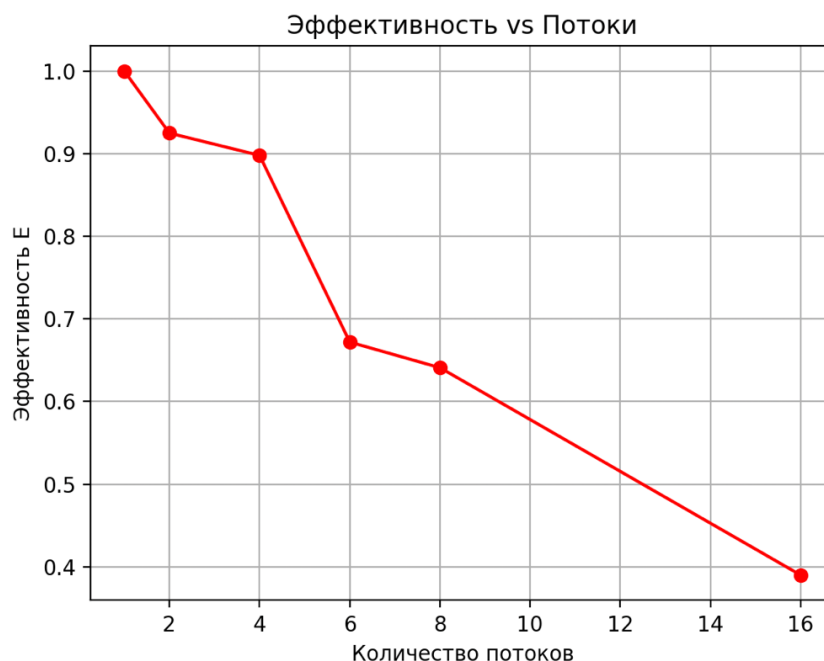
Ускорение:  $S = T_1 / T_n$ .  $T_1$  – время выполнения 1 потока,  $T_n$  – время выполнения на потоках  $n=\text{max\_threads}$ . Ускорение показывает, во сколько раз параллельная программа выполняется быстрее последовательной версии.

Эффективность:  $X = S / \text{max\_threads}$ .  $S$  – ускорение,  $\text{max\_threads}$  – число потоков. Эффективность показывает, насколько эффективно используются ресурсы.



Из графика видно, что ускорение растёт с увеличением числа потоков. При увеличении числа потоков с 1 до 8 наблюдается рост ускорения. Но с ростом числа потоков с 8 до 16 рост замедляется. Это связано с накладными расходами на: синхронизацию потоков, распределение задач между потоками, возможные конфликты доступа к памяти. Максимальное ускорение достигается при 16 потоках.

Вывод: параллельная программа масштабируется, но с увеличением числа потоков выигрыш в производительности растёт всё медленнее.



Из графика видно, что при 1–2 потоках эффективность близка к 1. С увеличением числа потоков до 4–8 эффективность снижается. Данное падение объясняется тем, что накладные расходы на управление потоками и синхронизацию становятся значительными.

Вывод: для данной программы оптимальное число потоков лежит в диапазоне 2–4, где сохраняется высокая эффективность без чрезмерных накладных расходов. Использование более 8 потоков даёт меньше ускорения на поток, что делает масштабирование неэффективным.

**Итог:** графики демонстрируют закон Амдала: ускорение ограничено долей последовательного кода. При увеличении количества потоков эффективность и ускорение уменьшаются. Для эффективной работы программы необходимо балансировать количество потоков, чтобы не тратить ресурсы впустую.

## Код программы

```
#include <stdlib.h>

#include <stdio.h>

#include <string.h>

#include <unistd.h>

#include <pthread.h>

#include <semaphore.h>

#include <complex.h>

#include <time.h>

typedef struct {

    int thread_id;

    int max_threads;

    int n;

    double complex **A;

    double complex **B;

    double complex **C;

    sem_t *sem;

} ThreadArgs;

static void *work(void *_args) {

    ThreadArgs *args = (ThreadArgs*)_args;

    int id = args->thread_id;

    int max_threads = args->max_threads;

    int n = args->n;

    for (int i = id; i < n; i+=max_threads) {
```

```

    for (int j = 0; j < n; ++j) {
        args->C[i][j] = 0 + 0 * I;
        for (int k = 0; k < n; ++k) {
            args->C[i][j] += args->A[i][k] * args->B[k][j];
        }
    }
}

sem_post(args->sem);

return NULL;
}

static double get_time_diff(struct timespec start, struct timespec end) {
    return (end.tv_sec - start.tv_sec) + (end.tv_nsec - start.tv_nsec) / 1e9;
}

int main(int argc, char** argv) {
    if (argc != 3) {
        const char msg[] = "error: invalid input\n";
        write(STDERR_FILENO, msg, sizeof(msg) - 1);
        exit(EXIT_FAILURE);
    }

    int n = atoi(argv[1]);
    int max_threads = atoi(argv[2]);

    if (n <= 0 || max_threads <= 0) {
        const char msg[] = "error: invalid input\n";
        write(STDERR_FILENO, msg, sizeof(msg) - 1);
        exit(EXIT_FAILURE);
    }

```

```
}
```

```
double complex **A = malloc(n * sizeof(double complex));
```

```
double complex **B = malloc(n * sizeof(double complex));
```

```
double complex **C = malloc(n * sizeof(double complex));
```

```
for (int i = 0; i < n; ++i) {
```

```
    A[i] = malloc(n * sizeof(double complex));
```

```
    B[i] = malloc(n * sizeof(double complex));
```

```
    C[i] = malloc(n * sizeof(double complex));
```

```
}
```

```
srand(time(NULL));
```

```
for (int i = 0; i < n; ++i) {
```

```
    for (int j = 0; j < n; ++j) {
```

```
        A[i][j] = rand() % 10 + (rand() % 10 * I);
```

```
        B[i][j] = rand() % 10 + (rand() % 10 * I);
```

```
    }
```

```
}
```

```
char buf[128];
```

```
// posledovatelniy algorithm
```

```
struct timespec start, end;
```

```
if (clock_gettime(CLOCK_MONOTONIC, &start) != 0) {
```

```
    const char msg[] = "error: cant get start time\n";
```

```
    write(STDERR_FILENO, msg, sizeof(msg) - 1);
```

```
    exit(EXIT_FAILURE);
```

```
}
```

```

for (int i = 0; i < n; ++i) {
    for (int j = 0; j < n; ++j) {
        C[i][j] = 0 + 0 * I;
        for (int k = 0; k < n; ++k) {
            C[i][j] += A[i][k] * B[k][j];
        }
    }
}

```

```

if (clock_gettime(CLOCK_MONOTONIC, &end) != 0) {
    const char msg[] = "error: cant get end time\n";
    write(STDERR_FILENO, msg, sizeof(msg) - 1);
    exit(EXIT_FAILURE);
}

```

```

double total_time = get_time_diff(start, end);

```

```

if (snprintf(buf, sizeof(buf), "\nposledovatelno\nmatrix multiplication completed in %.6f
sec\nused %d threads (n=%d)\n", total_time, max_threads, n) >= 0) {
    write(STDOUT_FILENO, buf, strlen(buf));
}

```

```

// parallel algorithm

```

```

sem_t sem;

```

```

sem_init(&sem, 0, 0);

```

```

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

```

```

ThreadArgs *thread_args = (ThreadArgs*)malloc(max_threads * sizeof(ThreadArgs));

```



```

struct timespec start_parallel, end_parallel;

if (clock_gettime(CLOCK_MONOTONIC, &start_parallel) != 0) {
    const char msg[] = "error: cant get start time\n";
    write(STDERR_FILENO, msg, sizeof(msg) - 1);
    exit(EXIT_FAILURE);
}

for (size_t i = 0; i < max_threads; ++i) {
    thread_args[i] = (ThreadArgs){
        .thread_id = i,
        .max_threads = max_threads,
        .n = n,
        .A = A,
        .B = B,
        .C = C,
        .sem = &sem,
    };

    pthread_create(&threads[i], NULL, work, &thread_args[i]);
}

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

if (clock_gettime(CLOCK_MONOTONIC, &end_parallel) != 0) {
    const char msg[] = "error: cant get start time\n";
    write(STDERR_FILENO, msg, sizeof(msg) - 1);
    exit(EXIT_FAILURE);
}

```

```
}
```

```
double total_parallel_time = get_time_diff(start_parallel, end_parallel);
```

```
if (snprintf(buf, sizeof(buf), "\nparallel\nmatrix multiplication completed in %.6f sec\nused %d  
threads (n=%d)\n", total_parallel_time, max_threads, n) >= 0) {
```

```
    write(STDOUT_FILENO, buf, strlen(buf));
```

```
}
```

```
for (int i=0; i < n; ++i) {
```

```
    free(A[i]);
```

```
    free(B[i]);
```

```
    free(C[i]);
```

```
}
```

```
free(A);
```

```
free(B);
```

```
free(C);
```

```
free(thread_args);
```

```
free(threads);
```

```
sem_destroy(&sem);
```

```
return 0;
```

```
}
```

## **Протокол работы программы**

## Тесты:

```
user@MacBook-Pro src % ./main 100 1

posledovatelno
matrix multiplication completed in 0.011424 sec
used 1 threads (n=100)

parallel
matrix multiplication completed in 0.009887 sec
used 1 threads (n=100)
user@MacBook-Pro src % ./main 100 2

posledovatelno
matrix multiplication completed in 0.012342 sec
used 2 threads (n=100)

parallel
matrix multiplication completed in 0.005340 sec
used 2 threads (n=100)
```

```
user@MacBook-Pro src % ./main 100 3

posledovatelno
matrix multiplication completed in 0.011905 sec
used 3 threads (n=100)

parallel
matrix multiplication completed in 0.003627 sec
used 3 threads (n=100)
user@MacBook-Pro src % ./main 100 4

posledovatelno
matrix multiplication completed in 0.012480 sec
used 4 threads (n=100)

parallel
matrix multiplication completed in 0.002755 sec
used 4 threads (n=100)
user@MacBook-Pro src % ./main 100 6

posledovatelno
matrix multiplication completed in 0.010878 sec
used 6 threads (n=100)

parallel
matrix multiplication completed in 0.002455 sec
used 6 threads (n=100)
user@MacBook-Pro src % ./main 100 8

posledovatelno
matrix multiplication completed in 0.007461 sec
used 8 threads (n=100)

parallel
matrix multiplication completed in 0.001926 sec
used 8 threads (n=100)
```

```

user@MacBook-Pro src % ./main 100 16

posledovatelno
matrix multiplication completed in 0.008924 sec
used 16 threads (n=100)

parallel
matrix multiplication completed in 0.001584 sec
used 16 threads (n=100)
user@MacBook-Pro src % ./main 100 128

posledovatelno
matrix multiplication completed in 0.012408 sec
used 128 threads (n=100)

parallel
matrix multiplication completed in 0.003854 sec
used 128 threads (n=100)
user@MacBook-Pro src % ./main 100 1024

posledovatelno
matrix multiplication completed in 0.012885 sec
used 1024 threads (n=100)

parallel
matrix multiplication completed in 0.026749 sec
used 1024 threads (n=100)

```

### Strace:

```
tru@tru:~/Downloads$ gcc main.c -o main -pthread -lrt
```

```
tru@tru:~/Downloads$ strace -f ./main 100 4
```

```
execve("./main", ["/main", "100", "4"], 0xffffd947c8f8 /* 76 vars */) = 0
```

```
brk(NULL) = 0xaaaadfa8d000
```

```
mmap(NULL, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0xffff8b4b0000
```

```
faccessat(AT_FDCWD, "/etc/ld.so.preload", R_OK) = -1 ENOENT (No such file or directory)
```

```
openat(AT_FDCWD, "/home/tru/catkin_ws/devel/lib/tls/aarch64/atomics/libpthread.so.0", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
```

```
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/tru/catkin_ws/devel/lib/tls/aarch64/atomics", 0xfffff4b44a10, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)
```

```
openat(AT_FDCWD, "/home/tru/catkin_ws/devel/lib/tls/aarch64/libpthread.so.0", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
```

```
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/tru/catkin_ws/devel/lib/tls/aarch64", 0xfffff4b44a10, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)
```

```
openat(AT_FDCWD, "/home/tru/catkin_ws/devel/lib/tls/atomics/libpthread.so.0", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
```

```
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/tru/catkin_ws/devel/lib/tls/atomics", 0xfffff4b44a10, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)
```

openat(AT\_FDCWD, "/home/tru/catkin\_ws/devel/lib/tls/libpthread.so.0",  
O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/home/tru/catkin\_ws/devel/lib/tls", 0xffff4b44a10, 0) = -1 ENOENT  
(No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/home/tru/catkin\_ws/devel/lib/aarch64/atomics/libpthread.so.0",  
O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/home/tru/catkin\_ws/devel/lib/aarch64/atomics", 0xffff4b44a10, 0) = -  
1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/home/tru/catkin\_ws/devel/lib/aarch64/libpthread.so.0",  
O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/home/tru/catkin\_ws/devel/lib/aarch64", 0xffff4b44a10, 0) = -1  
ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/home/tru/catkin\_ws/devel/lib/atomics/libpthread.so.0",  
O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/home/tru/catkin\_ws/devel/lib/atomics", 0xffff4b44a10, 0) = -1  
ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/home/tru/catkin\_ws/devel/lib/libpthread.so.0",  
O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/home/tru/catkin\_ws/devel/lib", {st\_mode=S\_IFDIR|0775,  
st\_size=12288, ...}, 0) = 0

openat(AT\_FDCWD, "/opt/ros/noetic/lib/tls/aarch64/atomics/libpthread.so.0",  
O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/opt/ros/noetic/lib/tls/aarch64/atomics", 0xffff4b44a10, 0) = -1  
ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/opt/ros/noetic/lib/tls/aarch64/libpthread.so.0",  
O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/opt/ros/noetic/lib/tls/aarch64", 0xffff4b44a10, 0) = -1 ENOENT (No  
such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/opt/ros/noetic/lib/tls/atomics/libpthread.so.0",  
O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/opt/ros/noetic/lib/tls/atomics", 0xffff4b44a10, 0) = -1 ENOENT (No  
such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/opt/ros/noetic/lib/tls/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1  
ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/opt/ros/noetic/lib/tls", 0xffff4b44a10, 0) = -1 ENOENT (No such file  
or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/opt/ros/noetic/lib/aarch64/atomics/libpthread.so.0",  
O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/opt/ros/noetic/lib/aarch64/atomics", 0xffff4b44a10, 0) = -1 ENOENT  
(No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/opt/ros/noetic/lib/aarch64/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/opt/ros/noetic/lib/aarch64", 0xfffff4b44a10, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/opt/ros/noetic/lib/atomics/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/opt/ros/noetic/lib/atomics", 0xfffff4b44a10, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/opt/ros/noetic/lib/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/opt/ros/noetic/lib", {st\_mode=S\_IFDIR|0755, st\_size=12288, ...}, 0) = 0

openat(AT\_FDCWD, "/home/tru/catkin\_ws/install/lib/mavlink\_sitl\_gazebo/plugins/tls/aarch64/atomics/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/home/tru/catkin\_ws/install/lib/mavlink\_sitl\_gazebo/plugins/tls/aarch64/atomics", 0xfffff4b44a10, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/home/tru/catkin\_ws/install/lib/mavlink\_sitl\_gazebo/plugins/tls/aarch64/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/home/tru/catkin\_ws/install/lib/mavlink\_sitl\_gazebo/plugins/tls/aarch64", 0xfffff4b44a10, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/home/tru/catkin\_ws/install/lib/mavlink\_sitl\_gazebo/plugins/tls/atomics/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/home/tru/catkin\_ws/install/lib/mavlink\_sitl\_gazebo/plugins/tls/atomics", 0xfffff4b44a10, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/home/tru/catkin\_ws/install/lib/mavlink\_sitl\_gazebo/plugins/tls/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/home/tru/catkin\_ws/install/lib/mavlink\_sitl\_gazebo/plugins/tls", 0xfffff4b44a10, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/home/tru/catkin\_ws/install/lib/mavlink\_sitl\_gazebo/plugins/aarch64/atomics/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/home/tru/catkin\_ws/install/lib/mavlink\_sitl\_gazebo/plugins/aarch64/atomics", 0xfffff4b44a10, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/home/tru/catkin\_ws/install/lib/mavlink\_sitl\_gazebo/plugins/aarch64/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/home/tru/catkin\_ws/install/lib/mavlink\_sitl\_gazebo/plugins/aarch64", 0xffffffff4b44a10, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/home/tru/catkin\_ws/install/lib/mavlink\_sitl\_gazebo/plugins/atomics/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/home/tru/catkin\_ws/install/lib/mavlink\_sitl\_gazebo/plugins/atomics", 0xffffffff4b44a10, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/home/tru/catkin\_ws/install/lib/mavlink\_sitl\_gazebo/plugins/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/home/tru/catkin\_ws/install/lib/mavlink\_sitl\_gazebo/plugins", 0xffffffff4b44a10, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/usr/share/gazebo-11/../../lib/aarch64-linux-gnu/gazebo-11/plugins/tls/aarch64/atomics/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/usr/share/gazebo-11/../../lib/aarch64-linux-gnu/gazebo-11/plugins/tls/aarch64/atomics", 0xffffffff4b44a10, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/usr/share/gazebo-11/../../lib/aarch64-linux-gnu/gazebo-11/plugins/tls/aarch64/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/usr/share/gazebo-11/../../lib/aarch64-linux-gnu/gazebo-11/plugins/tls/aarch64", 0xffffffff4b44a10, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/usr/share/gazebo-11/../../lib/aarch64-linux-gnu/gazebo-11/plugins/tls/atomics/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/usr/share/gazebo-11/../../lib/aarch64-linux-gnu/gazebo-11/plugins/tls/atomics", 0xffffffff4b44a10, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/usr/share/gazebo-11/../../lib/aarch64-linux-gnu/gazebo-11/plugins/tls/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/usr/share/gazebo-11/../../lib/aarch64-linux-gnu/gazebo-11/plugins/tls", 0xffffffff4b44a10, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/usr/share/gazebo-11/../../lib/aarch64-linux-gnu/gazebo-11/plugins/aarch64/atomics/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/usr/share/gazebo-11/../../lib/aarch64-linux-gnu/gazebo-11/plugins/aarch64/atomics", 0xffffffff4b44a10, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/usr/share/gazebo-11/../../lib/aarch64-linux-gnu/gazebo-11/plugins/aarch64/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/usr/share/gazebo-11/../../lib/aarch64-linux-gnu/gazebo-11/plugins/aarch64", 0xffffffff4b44a10, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/usr/share/gazebo-11/../../lib/aarch64-linux-gnu/gazebo-11/plugins/atomics/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/usr/share/gazebo-11/../../lib/aarch64-linux-gnu/gazebo-11/plugins/atomics", 0xffff4b44a10, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/usr/share/gazebo-11/../../lib/aarch64-linux-gnu/gazebo-11/plugins/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

newfstatat(AT\_FDCWD, "/usr/share/gazebo-11/../../lib/aarch64-linux-gnu/gazebo-11/plugins", {st\_mode=S\_IFDIR|0755, st\_size=4096, ...}, 0) = 0

openat(AT\_FDCWD, "tls/aarch64/atomics/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "tls/aarch64/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "tls/atomics/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "tls/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "aarch64/atomics/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "aarch64/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "atomics/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/etc/ld.so.cache", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = 3

fstat(3, {st\_mode=S\_IFREG|0644, st\_size=247550, ...}) = 0

mmap(NULL, 247550, PROT\_READ, MAP\_PRIVATE, 3, 0) = 0xffff8b447000

close(3) = 0

openat(AT\_FDCWD, "/lib/aarch64-linux-gnu/libpthread.so.0", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = 3

read(3, "\177ELF\2\1\1\0\0\0\0\0\0\0\0\0\3\0\267\0\1\0\0\0Ha\0\0\0\0\0...", 832) = 832

fstat(3, {st\_mode=S\_IFREG|0755, st\_size=164304, ...}) = 0

mmap(NULL, 197624, PROT\_READ|PROT\_EXEC, MAP\_PRIVATE|MAP\_DENYWRITE, 3, 0) = 0xffff8b416000

mprotect(0xffff8b432000, 61440, PROT\_NONE) = 0

mmap(0xffff8b441000, 8192, PROT\_READ|PROT\_WRITE, MAP\_PRIVATE|MAP\_FIXED|MAP\_DENYWRITE, 3, 0x1b000) = 0xffff8b441000

mmap(0xffff8b443000, 13304, PROT\_READ|PROT\_WRITE, MAP\_PRIVATE|MAP\_FIXED|MAP\_ANONYMOUS, -1, 0) = 0xffff8b443000



close(3) = 0

openat(AT\_FDCWD, "/home/tru/catkin\_ws/devel/lib/libc.so.6", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/opt/ros/noetic/lib/libc.so.6", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/usr/share/gazebo-11/../../lib/aarch64-linux-gnu/gazebo-11/plugins/libc.so.6", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "tls/aarch64/atomics/libc.so.6", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "tls/aarch64/libc.so.6", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "tls/atomics/libc.so.6", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "tls/libc.so.6", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "aarch64/atomics/libc.so.6", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "aarch64/libc.so.6", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "atomics/libc.so.6", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "libc.so.6", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT\_FDCWD, "/lib/aarch64-linux-gnu/libc.so.6", O\_RDONLY|O\_CLOEXEC) = 3

read(3, "\177ELF\2\1\1\3\0\0\0\0\0\0\0\3\0\267\0\1\0\0\0`\17\2\0\0\0\0\0"..., 832) = 832

fstat(3, {st\_mode=S\_IFREG|0755, st\_size=1450832, ...}) = 0

mmap(NULL, 1519552, PROT\_READ|PROT\_EXEC, MAP\_PRIVATE|MAP\_DENYWRITE, 3, 0) = 0xffff8b2a3000

mprotect(0xffff8b3fe000, 61440, PROT\_NONE) = 0

mmap(0xffff8b40d000, 24576, PROT\_READ|PROT\_WRITE, MAP\_PRIVATE|MAP\_FIXED|MAP\_DENYWRITE, 3, 0x15a000) = 0xffff8b40d000

mmap(0xffff8b413000, 12224, PROT\_READ|PROT\_WRITE, MAP\_PRIVATE|MAP\_FIXED|MAP\_ANONYMOUS, -1, 0) = 0xffff8b413000

close(3) = 0

mmap(NULL, 8192, PROT\_READ|PROT\_WRITE, MAP\_PRIVATE|MAP\_ANONYMOUS, -1, 0) = 0xffff8b4ae000

mprotect(0xffff8b40d000, 16384, PROT\_READ) = 0

mprotect(0xffff8b441000, 4096, PROT\_READ) = 0

mprotect(0xaaacee72000, 4096, PROT\_READ) = 0

```

mprotect(0xffff8b4b5000, 4096, PROT_READ) = 0
munmap(0xffff8b447000, 247550) = 0
set_tid_address(0xffff8b4ae0e0) = 5803
set_robust_list(0xffff8b4ae0f0, 24) = 0

rt_sigaction(SIGRTMIN, {sa_handler=0xffff8b41bbd0, sa_mask=[], sa_flags=SA_SIGINFO},
NULL, 8) = 0

rt_sigaction(SIGRT_1, {sa_handler=0xffff8b41bc90, sa_mask=[],
sa_flags=SA_RESTART|SA_SIGINFO}, NULL, 8) = 0

rt_sigprocmask(SIG_UNBLOCK, [RTMIN RT_1], NULL, 8) = 0

prlimit64(0, RLIMIT_STACK, NULL, {rlim_cur=8192*1024, rlim_max=RLIM64_INFINITY})
= 0

brk(NULL) = 0xaaaadfa8d000

brk(0xaaaadfae000) = 0xaaaadfae000

brk(0xaaaadfacc000) = 0xaaaadfacc000

brk(0xaaaadfaf0000) = 0xaaaadfaf0000

brk(0xaaaadfb11000) = 0xaaaadfb11000

write(1, "\nposledovatelno\nmatrix multiplic"..., 87
posledovatelno
matrix multiplication completed in 0.003978 sec
used 4 threads (n=100)

) = 87

mmap(NULL, 8392704, PROT_NONE, MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS|MAP_STACK, -
1, 0) = 0xffff8aaa2000

mprotect(0xffff8aaa3000, 8388608, PROT_READ|PROT_WRITE) = 0

clone(child_stack=0xffff8b2a1ae0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE
_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CLONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEAR_TIDstrace:
Process 5804 attached

, parent_tid=[5804], tls=0xffff8b2a28e0, child_tidptr=0xffff8b2a22b0) = 5804

[pid 5803] mmap(NULL, 8392704, PROT_NONE,
MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS|MAP_STACK, -1, 0 <unfinished ...>

[pid 5804] set_robust_list(0xffff8b2a22c0, 24 <unfinished ...>

[pid 5803] <... mmap resumed> = 0xffff8a2a1000

[pid 5804] <... set_robust_list resumed> = 0

[pid 5803] mprotect(0xffff8a2a2000, 8388608, PROT_READ|PROT_WRITE) = 0

```

**[pid 5803] clone(child\_stack=0xffff8aaa0ae0, flags=CLONE\_VM|CLONE\_FS|CLONE\_FILES|CLONE\_SIGHAND|CLONE\_THREAD|CLONE\_SYSVSEM|CLONE\_SETTLS|CLONE\_PARENT\_SETTID|CLONE\_CHILD\_CLEAR\_TID)strace: Process 5805 attached**

**, parent\_tid=[5805], tls=0xffff8aaa18e0, child\_tidptr=0xffff8aaa12b0) = 5805**

[pid 5805] set\_robust\_list(0xffff8aaa12c0, 24 <unfinished ...>

[pid 5803] mmap(NULL, 8392704, PROT\_NONE, MAP\_PRIVATE|MAP\_ANONYMOUS|MAP\_STACK, -1, 0) = 0xffff89aa0000

[pid 5803] mprotect(0xffff89aa1000, 8388608, PROT\_READ|PROT\_WRITE <unfinished ...>

[pid 5805] <... set\_robust\_list resumed>) = 0

[pid 5803] <... mprotect resumed>) = 0

[pid 5804] madvise(0xffff8aaa2000, 8253440, MADV\_DONTNEED) = 0

**[pid 5803] clone(child\_stack=0xffff8a29fae0, flags=CLONE\_VM|CLONE\_FS|CLONE\_FILES|CLONE\_SIGHAND|CLONE\_THREAD|CLONE\_SYSVSEM|CLONE\_SETTLS|CLONE\_PARENT\_SETTID|CLONE\_CHILD\_CLEAR\_TID)strace: Process 5806 attached**

**, parent\_tid=[5806], tls=0xffff8a2a08e0, child\_tidptr=0xffff8a2a02b0) = 5806**

[pid 5806] set\_robust\_list(0xffff8a2a02c0, 24 <unfinished ...>

[pid 5804] exit(0 <unfinished ...>

[pid 5803] mmap(NULL, 8392704, PROT\_NONE, MAP\_PRIVATE|MAP\_ANONYMOUS|MAP\_STACK, -1, 0 <unfinished ...>

[pid 5806] <... set\_robust\_list resumed>) = 0

[pid 5805] madvise(0xffff8a2a1000, 8253440, MADV\_DONTNEED <unfinished ...>

[pid 5804] <... exit resumed>) = ?

[pid 5803] <... mmap resumed>) = 0xffff8929f000

[pid 5805] <... madvise resumed>) = 0

[pid 5803] mprotect(0xffff892a0000, 8388608, PROT\_READ|PROT\_WRITE <unfinished ...>

[pid 5805] exit(0) = ?

[pid 5804] +++ exited with 0 +++

[pid 5803] <... mprotect resumed>) = 0

[pid 5806] madvise(0xffff89aa0000, 8253440, MADV\_DONTNEED <unfinished ...>

[pid 5805] +++ exited with 0 +++

**[pid 5803] clone(child\_stack=0xffff89a9eae0, flags=CLONE\_VM|CLONE\_FS|CLONE\_FILES|CLONE\_SIGHAND|CLONE\_THREAD|CLONE\_SYSVSEM|CLONE\_SETTLS|CLONE\_PARENT\_SETTID|CLONE\_CHILD\_CLEAR\_TID <unfinished ...>**

[pid 5806] <... madvise resumed>) = 0

[pid 5806] exit(0strace: Process 5807 attached

) = ?

[pid 5803] <... clone resumed>, parent\_tid=[5807], tls=0xffff89a9f8e0, child\_tidptr=0xffff89a9f2b0) = 5807

[pid 5807] set\_robust\_list(0xffff89a9f2c0, 24 <unfinished ...>

[pid 5806] +++ exited with 0 +++

[pid 5807] <... set\_robust\_list resumed>) = 0

[pid 5803] futex(0xffff89a9f2b0, FUTEX\_WAIT, 5807, NULL <unfinished ...>

[pid 5807] madvise(0xffff8929f000, 8253440, MADV\_DONTNEED) = 0

[pid 5807] exit(0) = ?

[pid 5803] <... futex resumed>) = 0

[pid 5807] +++ exited with 0 +++

write(1, "\nparallel\nmatrix multiplication "...., 81

parallel

matrix multiplication completed in 0.008213 sec

used 4 threads (n=100)

) = 81

exit\_group(0) = ?

+++ exited with 0 +++

## Вывод

В ходе лабораторной работы были изучены и применены основные системные вызовы для управления потоками ОС и обеспечения синхронизации между потоками. Была реализована программа на языке С для перемножения двух квадратных матриц с комплексными числами как последовательным, так и многопоточным алгоритмом, проведен анализ ускорения и эффективности.