Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

“НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО”

Факультет Программной инженерии и компьютерной техники

Направление подготовки (специальность) Системное и прикладное ПО

ОТЧЕТ

Лабораторная работа №4
по предмету «Параллельные вычисления»

Тема проекта: «Метод доверительных интервалов при изменении времени выполнения параллельной OpenMP-программы».

Обучающийся Кирюшин В. А. (**Фамилия И.О.**) P4114 (**номер группы**)

Преподаватель Жданов А. Д. (**Фамилия И.О.**)

Санкт-Петербург
2023 г.

Содержание

Описание решаемой задачи

Взять программу из 4-ой лабораторной работы и заменить директивы OPEN_MP на функции библиотеки pthread. Для задания на 4 необходимо реализовать расписание static.

Краткая характеристика «железа»

Операционная система: Ubuntu 22.04 LTS

Процессор: AMD Ryzen 5 4600H with Radeon Graphics

Кол-во физических ядер: 6

Кол-во логических ядер: 12

Семейство процессоров: 23

Модель: 96

Версия GCC: 11.3.0

Листинг программы lab5.c

```
#include
<stdio.h>
            #include <stdlib.h>
            #include <sys/time.h>
            #include <math.h>
            #include <unistd.h>
            #include <pthread.h>

            struct main_route_par
            {
                /* data */
                int N;
                int num_threads;
                int* progress;
            };

            struct thread_params {
                int chunk_size;
                int thread_id;
                int num_threads;
            };
```

```
struct map_parameters {
    unsigned int array_size;
    double* array;
    struct thread_params thread_p;
};

struct generate_array_params {
    double* array;
    int size;
    unsigned int* seed;
    int min;
    int max;
    struct thread_params thread_p;
};

struct copy_parameters {
    double* original;
    double* copied;
    int size;
    struct thread_params thread_p;
};

struct map_log_tan {
    unsigned int N;
    double *arr2;
    double *arr2_copy;
    struct thread_params thread_p;
};

struct sort_params {
    double* arr;
    unsigned int start;
    unsigned int end;
};

struct reduce_params {
    unsigned int N;
    double* arr2;
    double min;
    double res;
    struct thread_params thread_p;
};

double get_wtime() {
    struct timeval T;
    double time_ms;
```

```
    gettimeofday(&T, NULL);
    time_ms = (1000.0 * ((double)T.tv_sec) + ((double)T.tv_usec) / 1000.0);
    return (double)(time_ms / 1000.0);
}

int min_el(int *restrict a, int * restrict b) {
    return (*a) < (*b) ? (*a) : (*b);
}

void *generate_array(void *gen_arr_params_v) {
    struct generate_array_params *gen_arr_params = (struct
generate_array_params*) gen_arr_params_v;
    double *array = gen_arr_params->array;
    int size = gen_arr_params->size;
    unsigned int *seed = gen_arr_params->seed;
    int min = gen_arr_params->min;
    int max = gen_arr_params->max;
    int chunk = gen_arr_params->thread_p.chunk_size;
    int tid = gen_arr_params->thread_p.thread_id;
    int num_threads = gen_arr_params->thread_p.num_threads;

    for (int j = tid*chunk; j < size; j+=num_threads*chunk) {
        for (int i = 0; j+i < size && i < chunk; ++i) {
            int next = j+i;
            unsigned int tmp_seed = sqrt(next + *seed);
            array[next] = ((double)rand_r(&tmp_seed) / (RAND_MAX)) * (max -
min) + min;
            //printf("t_id=%d j=%d array[j]=%f\n", tid, next, array[next]);
        }
    }
    pthread_exit(NULL);
}

void generate_array_pthreads(
        double *array,
        int size,
        unsigned int *seed,
        int min,
        int max,
        int chunk_size,
        int num_threads
) {
    struct generate_array_params gen_arr_params[num_threads];
    pthread_t threads[num_threads];
    for (int j = 0; j < num_threads; ++j) {
        gen_arr_params[j].array = array;
        gen_arr_params[j].size = size;
```

```
        gen_arr_params[j].seed = seed;
        gen_arr_params[j].min = min;
        gen_arr_params[j].max = max;
        gen_arr_params[j].thread_p.chunk_size = chunk_size;
        gen_arr_params[j].thread_p.thread_id = j;
        gen_arr_params[j].thread_p.num_threads = num_threads;
        pthread_create(&threads[j], NULL, generate_array, &gen_arr_params[j]);
    }
    for (int j = 0; j < num_threads; ++j) pthread_join(threads[j], NULL);
}

void *map_pthreads(void *params) {
    struct map_parameters *p = (struct map_parameters*) params;
    unsigned int N = p->array_size;
    double *arr1 = p->array;
    int chunk = p->thread_p.chunk_size;
    int tid = p->thread_p.thread_id;
    int num_threads = p->thread_p.num_threads;

    for (int j = tid*chunk; j < N; j+=num_threads*chunk) {
        for (int i = 0; j+i < N && i < chunk; ++i) {
            int next = j + i;
            arr1[next] = exp(sqrt(arr1[next]));
            //printf("tid=%d j=%d arr1[j]=%f\n", tid, next, arr1[next]);
        }
    }
    pthread_exit(NULL);
}

void* map_log_tan(void *params) {
    struct map_log_tan *p = (struct map_log_tan*) params;
    unsigned int N = p->N;
    double *arr2 = p->arr2;
    double *arr2_copy = p->arr2_copy;
    int chunk = p->thread_p.chunk_size;
    int tid = p->thread_p.thread_id;
    int num_threads = p->thread_p.num_threads;

    for (int j = tid*chunk; j < N; j+=num_threads*chunk) {
        for (int i = 0; j+i < N && i < chunk; ++i) {
            int next = j + i;
            arr2[next] = log(fabs(tan(arr2[next] + arr2_copy[next])));
            // printf("tid=%d j=%d arr2[j]=%f\n",tid, next, arr2[next]);
        }
    }
    pthread_exit(NULL);
}
```

```
void *a_copy_pthread(void *params) {
    struct copy_parameters *p = (struct copy_parameters*) params;
    double *original = p->original;
    double *copied = p->copied;
    int size = p->size;
    int chunk = p->thread_p.chunk_size;
    int tid = p->thread_p.thread_id;
    int num_threads = p->thread_p.num_threads;

    for (int j = tid*chunk; j < size; j+=num_threads*chunk) {
        for (int i = 0; j+i < size && i < chunk; ++i) {
            int next = j + i;
            copied[next] = original[next];
            //printf("tid=%d i=%d copied[i]=%f=original[i]=%f\n", tid, next,
copied[next], original[next]);
        }
    }
    pthread_exit(NULL);
}

void a_copy(double *original, double *copied, int size, int num_threads) {
    struct copy_parameters mp[num_threads];
    pthread_t threads[num_threads];
    for (int j = 0; j < num_threads; ++j) {
        mp[j].original = original;
        mp[j].copied = copied;
        mp[j].size = size;
        mp[j].thread_p.chunk_size = size / num_threads;
        mp[j].thread_p.thread_id = j;
        mp[j].thread_p.num_threads = num_threads;
        pthread_create(&threads[j], NULL, a_copy_pthread, &mp[j]);
    }
    for (int j = 0; j < num_threads; ++j) pthread_join(threads[j], NULL);
}

void *merge_pthreads(void *params) {
    struct map_log_tan *p = (struct map_log_tan*) params;
    unsigned int N = p->N;
    double *arr2 = p->arr2;
    double *arr2_copy = p->arr2_copy;
    int chunk = p->thread_p.chunk_size;
    int tid = p->thread_p.thread_id;
    int num_threads = p->thread_p.num_threads;

    for (int j = tid*chunk; j < N; j+=num_threads*chunk) {
        for (int i = 0; j+i < N && i < chunk; ++i) {
```

```
            int next = j + i;
            arr2_copy[next] = arr2[next] * arr2_copy[next];
            // printf("tid=%d j=%d arr2[j]=%f\n", tid, j, arr2[j]);
        }
    }
    //printf("...\n");
    pthread_exit(NULL);
}

void swap(double *xp, double *yp) {
    double temp = *xp;
    *xp = *yp;
    *yp = temp;
}

void selectionSort(double arr[], int start, int end) {
    int i, j, min_idx;
    // One by one move boundary of unsorted subarray
    for (i = start; i < end-1; i++)
    {
        // Find the minimum element in unsorted array
        min_idx = i;
        for (j = i+1; j < end; j++)
          if (arr[j] < arr[min_idx])
            min_idx = j;

        // Swap the found minimum element with the first element
           if(min_idx != i)
            swap(&arr[min_idx], &arr[i]);
    }
}

void print_arr(double *arr, int n){
    for(int i = 0; i < n; i++){
        printf("%f ", arr[i]);
    }
    printf("\n");
}

void *select_sort_pthreads(void *params) {
    struct sort_params *p = (struct sort_params*) params;
    double *arr = p->arr;
    unsigned int start = p->start;
    unsigned int end = p->end;
    selectionSort(arr, start, end);

    pthread_exit(NULL);
```

```
}

void *reduce_pthreads(void *params) {
    struct reduce_params *p = (struct reduce_params*) params;
    unsigned int N = p->N;
    double *arr2 = p->arr2;
    double min = p->min;
    double res = p->res;
    int chunk = p->thread_p.chunk_size;
    int tid = p->thread_p.thread_id;
    int num_threads = p->thread_p.num_threads;

    for (int j = tid*chunk; j < N; j+=num_threads*chunk) {
        for (int i = 0; j+i < N && i < chunk; ++i) {
            int next = j + i;
            if ((int) (arr2[next] / min) % 2 == 0) {
                res += sin(arr2[next]);
            }
        }
    }
    //printf("tid=%d res=%f\n", tid, res);
    p->res = res;
    pthread_exit(NULL);
}


void merge_sorted(double *src1, int n1, double *src2, int n2, double *dst) {
    int i = 0, i1 = 0, i2 = 0;
    while (i < n1 + n2) {
        dst[i++] = src1[i1] > src2[i2] && i2 < n2 ? src2[i2++] : src1[i1++];
    }
}

void compare_time(double start_time, double end_time, double* min_time) {
    double step_time = 1000 * (end_time - start_time);
    if ((*min_time == -1.0) || (step_time < *min_time))
        *min_time = step_time;
}

void* mainpart(void* params_p) {
    int N, key;
    double T1, T2, X;
    unsigned int seed;
    long long delta_ms;
    struct main_route_par *params = (struct main_route_par *) params_p;
    N = params->N;
    unsigned num_threads = params->num_threads;
```

```
    int* progress = params->progress;
    T1 = get_wtime();
    int N_2 = N / 2;
    double A = 490.0; /* Ф*И*О */
    double min = 1; double max = A; double max_2 = max * 10;
    double *restrict M1 = malloc(N * sizeof(double));
    double *restrict M2 = malloc(N_2 * sizeof(double));
    double *restrict M2_old = malloc(N_2 * sizeof(double));
    double *restrict M2_sorted = malloc(N_2 * sizeof(double));
    int exp_count = 100;
    //int exp_count = 1;
    double step_t1, step_t2;
    double  minimal_generate_time = -1.0,
            minimal_map_time = -1.0,
            minimal_merge_time = -1.0,
            minimal_sort_time = -1.0,
            minimal_reduce_time = -1.0;
    for (int j = 0; j < exp_count; ++j) {
        X = 0.0;
        seed = j;
        /* Generate */
        step_t1 = get_wtime();
        generate_array_pthreads(M1, N, &seed, min, max, N/num_threads,
num_threads);
        generate_array_pthreads(M2, N_2, &seed+2, max, max_2, N_2/num_threads,
num_threads);
        step_t2 = get_wtime();
        compare_time(step_t1, step_t2, &minimal_generate_time);
        /*---------------------------------------------------------------*/
        // MAP
        step_t1 = get_wtime();
        struct map_parameters mp[num_threads];
        pthread_t threads[num_threads];
        for (int k = 0; k < num_threads; ++k) {
            mp[k].array = M1;
            mp[k].array_size = N;
            mp[k].thread_p.chunk_size = N / num_threads;
            mp[k].thread_p.thread_id = k;
            mp[k].thread_p.num_threads = num_threads;
            pthread_create(&threads[k], NULL, map_pthreads, &mp[k]);
        }
        for (int k = 0; k < num_threads; ++k) pthread_join(threads[k], NULL);

        M2_old[0]=0;
        a_copy(M2, M2_old+1, N_2, num_threads);

        struct map_log_tan mp_t[num_threads];
```

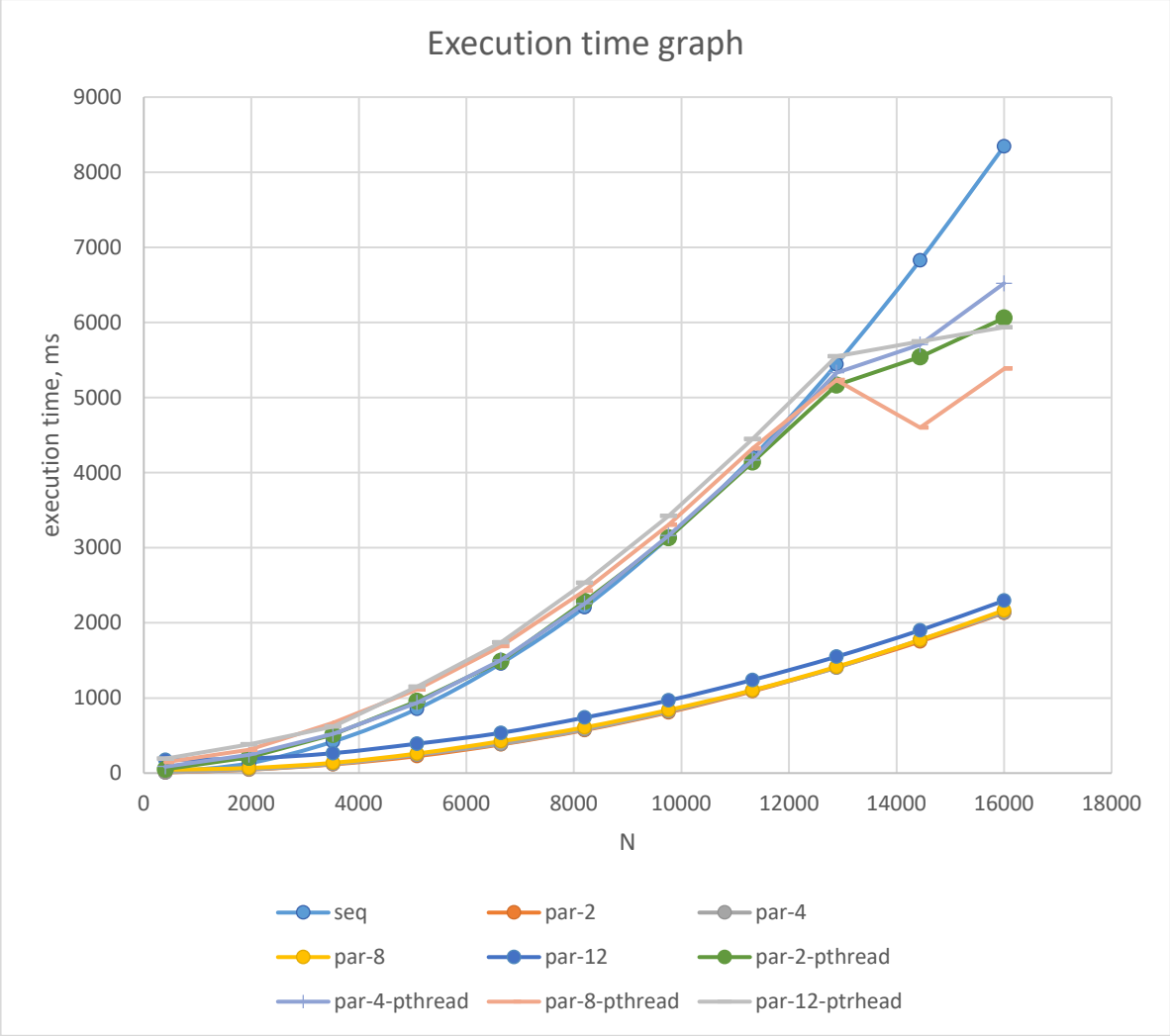
```
        pthread_t threads_two[num_threads];
        for (int k = 0; k < num_threads; ++k) {
            mp_t[k].N = N_2;
            mp_t[k].arr2 = M2;
            mp_t[k].arr2_copy = M2_old;
            mp_t[k].thread_p.chunk_size = N_2 / num_threads;
            mp_t[k].thread_p.thread_id = k;
            mp_t[k].thread_p.num_threads = num_threads;
            pthread_create(&threads_two[k], NULL, map_log_tan, &mp_t[k]);
        }
        for (int k = 0; k < num_threads; ++k) pthread_join(threads_two[k],
NULL);
        step_t2 = get_wtime();
        compare_time(step_t1, step_t2, &minimal_map_time);
        /*-------------------------------------------------------------------
-*/
        // MERGE
        step_t1 = get_wtime();
        for (int k = 0; k < num_threads; ++k) {
            mp_t[k].arr2 = M1;
            mp_t[k].arr2_copy = M2;
            pthread_create(&threads_two[k], NULL, merge_pthreads, &mp_t[k]);
        }
        for (int k = 0; k < num_threads; ++k) pthread_join(threads_two[k],
NULL);
        step_t2 = get_wtime();
        compare_time(step_t1, step_t2, &minimal_merge_time);
        /*-------------------------------------------------------------------
-*/
        // SORT
        step_t1 = get_wtime();
        pthread_t threads_sort[2];
        struct sort_params sp[2];
        //printf("M2 = \n");
        //print_arr(M2, N_2);
        sp[0].arr = M2;
        sp[0].start = 0;
        sp[0].end = N_2 / 2;
        pthread_create(&threads_sort[0], NULL, select_sort_pthreads, &sp[0]);
        sp[1].arr = M2;
        sp[1].start = N_2 / 2;
        sp[1].end = N_2;
        pthread_create(&threads_sort[1], NULL, select_sort_pthreads, &sp[1]);
        pthread_join(threads_sort[0], NULL);
        pthread_join(threads_sort[1], NULL);
        merge_sorted(M2, N_2/2, M2 + N_2/2, N_2 - N_2/2, M2_sorted);
        a_copy(M2_sorted, M2, N_2, num_threads);
```

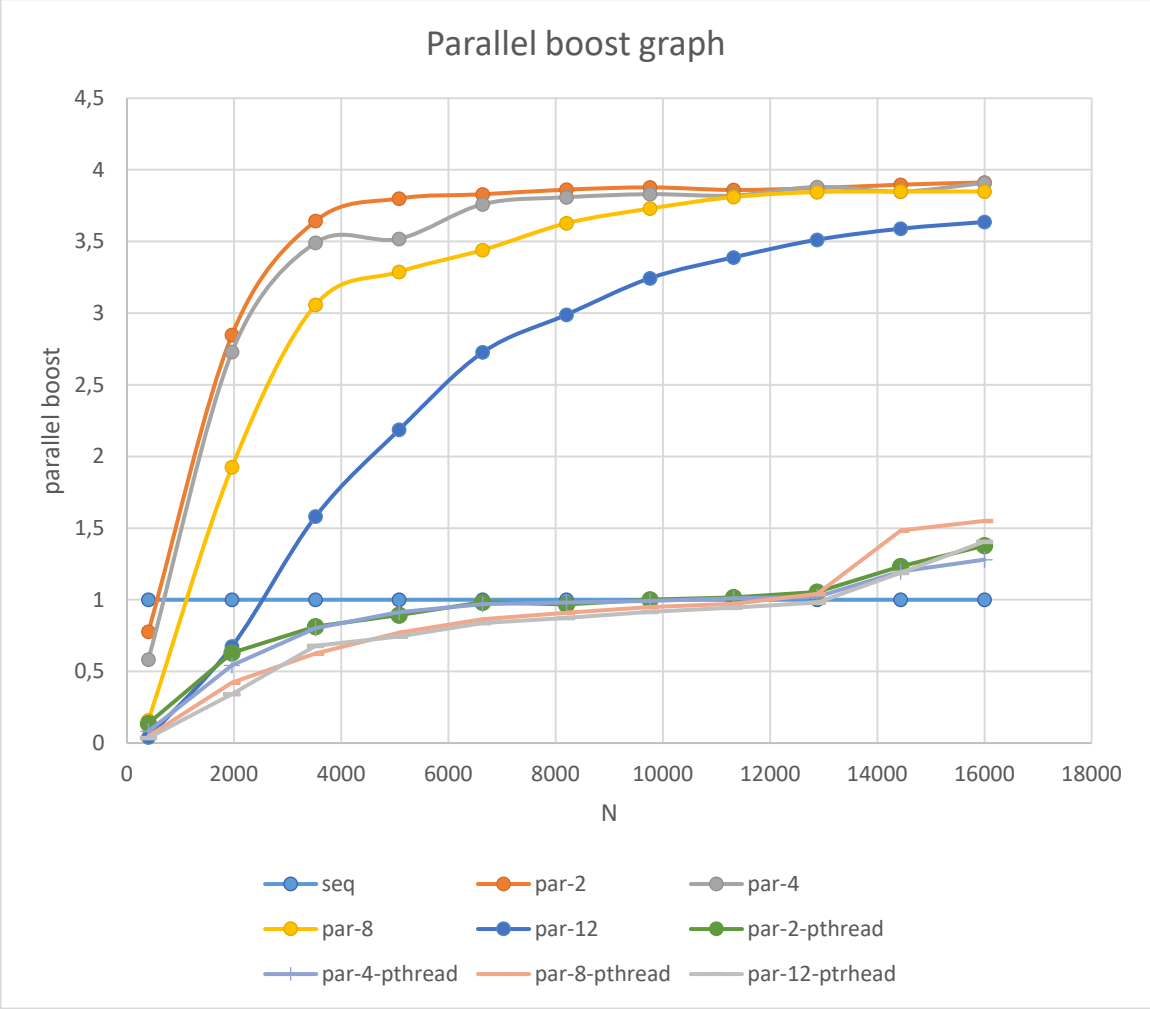
```
        //printf("M2_sort = \n");
        //print_arr(M2, N_2);
        step_t2 = get_wtime();
        compare_time(step_t1, step_t2, &minimal_sort_time);
        /*-------------------------------------------------------------------
-*/
        // REDUCE
        step_t1 = get_wtime();
        key = M2[0];
        struct reduce_params rp[num_threads];
        pthread_t rp_threads[num_threads];
        for (int k = 0; k < num_threads; ++k) {
            rp[k].N = N_2;
            rp[k].arr2 = M2;
            rp[k].min = key;
            rp[k].res = 0;
            rp[k].thread_p.chunk_size = N_2/ num_threads;
            rp[k].thread_p.thread_id = k;
            rp[k].thread_p.num_threads = num_threads;
            pthread_create(&rp_threads[k], NULL, reduce_pthreads, &rp[k]);
        }
        for (int k = 0; k < num_threads; ++k) {
            pthread_join(rp_threads[k], NULL);
            X += rp[k].res;
        }
        //printf("res=%f\n", X);
        *progress = (100 * (j + 1)) / exp_count;
        step_t2 = get_wtime();
        compare_time(step_t1, step_t2, &minimal_reduce_time);
        /*-------------------------------------------------------------------
-*/
    }
    printf("X= %f\n", X);
    T2 = get_wtime(); /* запомнить текущее время T2 */

    free(M1);
    free(M2);
    free(M2_old);
    free(M2_sorted);

    delta_ms = (T2 - T1) * 1000;

//    printf("%lld\n", delta_ms);
//    printf("N=%d. Milliseconds passed: %ld\n", N, delta_ms);
    printf("Best time: %lld ms; generate: %f ms; map: %f ms; merge: %f ms;
sort: %f ms; reduce: %f ms\n",
           delta_ms,
```

```
            minimal_generate_time,
            minimal_map_time,
            minimal_merge_time,
            minimal_sort_time,
            minimal_reduce_time);
    pthread_exit(NULL);
}

void* progressnotifier(void* progress_p) {
    int* progress = (int*) progress_p;
    int time = 0;
    for(;;) {
        time = *progress;
        //printf("\nPROGRESS: %d\n", time);
        if (time >= 100) break;
        sleep(1);
    }
    pthread_exit(NULL);
}

int main(int argc, char *argv[]) {
    int *progress = malloc(sizeof(int));
    *progress = 0;
    pthread_t threads[2];
    struct main_route_par params;
    if (argc != 3) {
        printf("Usage: ./lab5 N num_threads\n");
        printf("N - size of the array; should be greater than 2\n");
        printf("num_threads - number of threads\n");
        return 1;
    }
    params.N = atoi(argv[1]);  /* N равен первому параметру командной строки */
    params.num_threads = atoi(argv[2]); /* amount of threads */
    params.progress = progress;
    pthread_create(&threads[0], NULL, progressnotifier, progress);
    pthread_create(&threads[1], NULL, mainpart, &params);

    pthread_join(threads[0], NULL);
    pthread_join(threads[1], NULL);
    return 0;
}
```

Результаты экспериментов

Сравним результаты из 4-ой лабораторной работы и 5-ой, время выполнения и параллельное ускорение:





Системный монитор

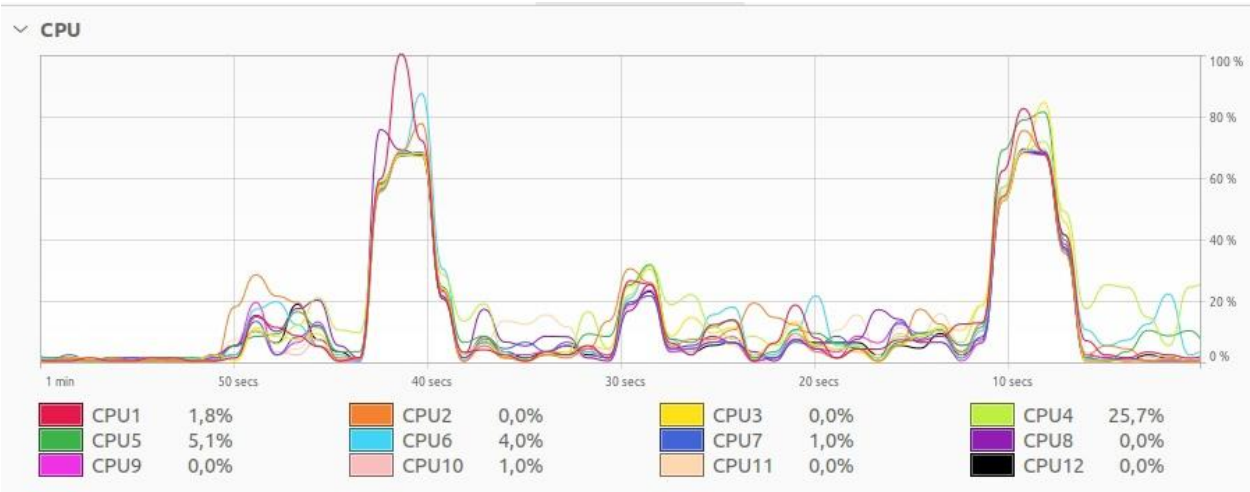
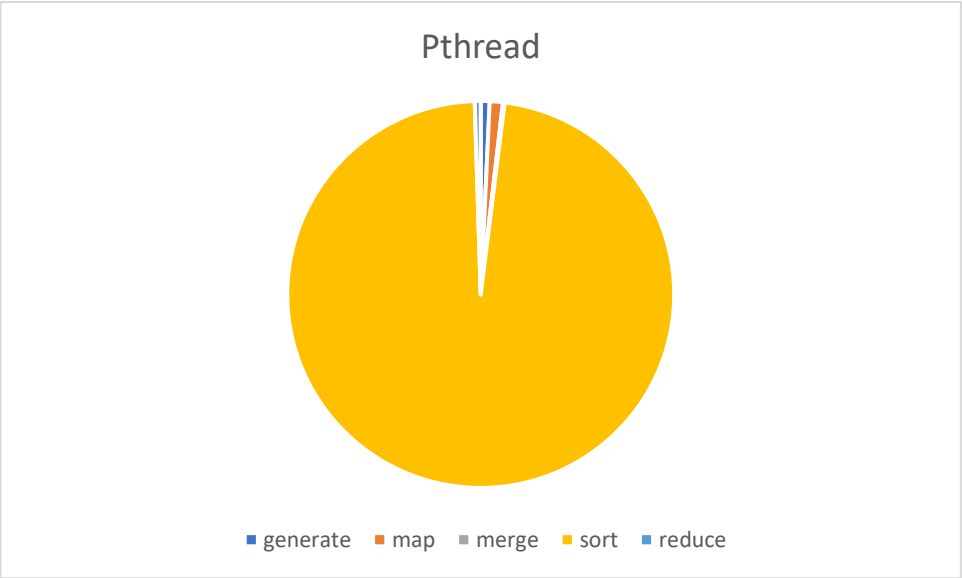
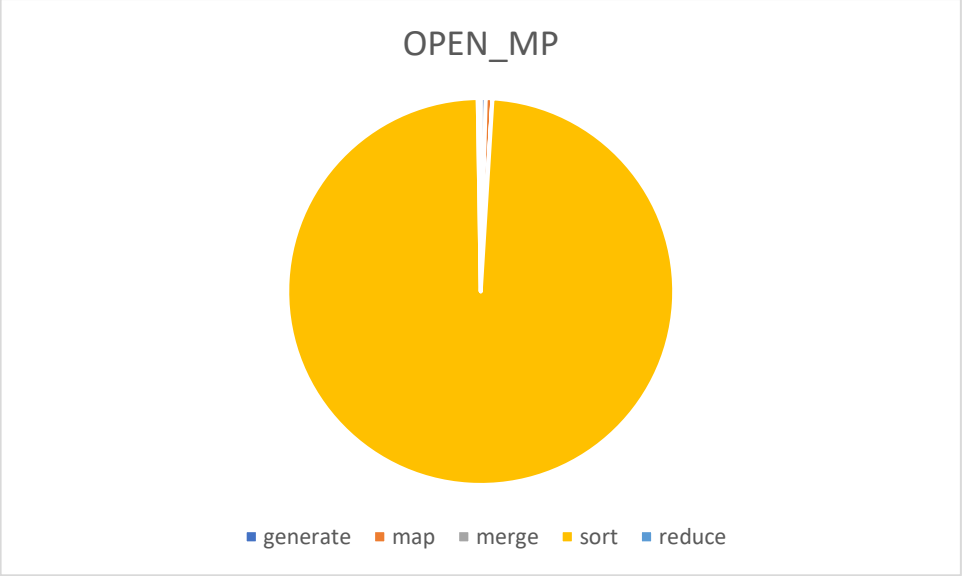


Диаграмма выполнения поэтапно





Вывод

В рамках данной работы была распараллелена с помощью библиотеки POSIX Threads. Результаты сравнивались с предыдущей 4 лабораторной работой. Так как Posix потоки создаются на каждом этапе это вызывает большие накладные расходы, из-за чего время выполнения на небольших значения размера массива практически не отличается от последовательного выполнения.

Количество строк кода увеличилось на **200** по сравнению с программой, использующей Open_MP.

Для программиста в условиях выбора между open_mp и posix threads, стоит отдавать предпочтение open_mp. Выбирать posix threads стоит если имеется большой опыт работы и хорошее знание работы параллельных систем.