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 P4114

Трофимова Полина Владимировна

Преподаватель:

Жданов Андрей Дмитриевич

Санкт-Петербург, 2024 г.

Оглавление

Описание решаемой задачи

1. В программе, полученной в результате выполнения ЛР №3, так изменить этап Generate, чтобы генерируемый набор случайных чисел не зависел от числа потоков, выполняющих программу.

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).

Краткая характеристика системы

Операционная система: Windows 10 Домашняя

Тип системы: 64-разрядная операционная система

Процессор: AMD Ryzen 7 5700U

Оперативная память: 8ГБ

Количество физических ядер: 8

Количество логических ядер: 16

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

Программа lab1.c

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


#define min(a,b) (((a) < (b)) ? (a) : (b))
#define max(a,b) (((a) > (b)) ? (a) : (b))
#define div(a,b) a/b
#define BENCHMARK 1

struct map_data {
    double* src;
    double* dst;
    void* args;
    int arg_size;
    void* callback;
    int length;
    int n_start;
};

struct arg_src2 {
    double src2;
};

struct threads_info {
    pthread_t* threads;
    struct thread_arg* thread_args;
    int n_threads;
    sem_t* sems_begin;
    sem_t* sems_end;
    double* benchmarking_results;
    double* benchmarking_time;
};

struct thread_arg {
    int t_id;
    void* routine;
    int* is_finished;
    struct threads_info* t_info;
    struct map_data* data;
};


void swap(double* a, double* b) {
    double t;
    t = *a, * a = *b, * b = t;
}

double get_time() {
    struct timeval t;
    gettimeofday(&t, NULL);
    return t.tv_sec + t.tv_usec / 1000000.0;
}

void fill_array(double* array, int n, double value) {
    for (int i = 0; i < n; ++i) {
        array[i] = value;
    }
}
```

```
void print_delta(struct timeval T1, struct timeval T2) {
    unsigned long long delta_ms = 1000 * (T2.tv_sec - T1.tv_sec) + (T2.tv_usec - T1.tv_usec) /
1000;
    printf("\n%llu\n", delta_ms);
}
double copy(double x) {
    return  x;
}

double tanh_min(double x, void* arg) {
    return  (double)(tanh(x)-1);
}

double pow_log10(double x, void* arg) {
    return  pow(log10(x), M_E);
}

double sum_prev(double x, void* arg) {
    struct arg_src2* data = arg;
    return data->src2 + x;
}

double get_max(double x, void* arg) {
    struct arg_src2* data = arg;
    return (int)div(x , (data->src2))*1000;
}

double map_sin(double x, void* arg) {
    struct arg_src2* data = arg;
    if ((int)(x / (data->src2)) % 2 == 0) return sin(x);
    else return 0;
}

double sum_reduce(double x, void* arg) {
    double* acc = arg;
    return (*acc) + x;
}


void* map_routine(void* arg) {
    struct map_data* data = arg;
    double (*fun_ptr)(double, void*) = data->callback;
    if (data->length < 1) return NULL;
    for (int i = 0; i < data->length; ++i) {
        data->dst[i] = (*fun_ptr)(data->src[i], data->args + i * data->arg_size);
    }
    return NULL;

}

void* reduce_routine(void* arg) {
    struct map_data* data = arg;
    double (*fun_ptr)(double, void*) = data->callback;
    if (data->length < 1) return NULL;
    for (int i = 0; i < data->length; ++i) {
        *data->dst = (*fun_ptr)(data->src[i], data->dst);
    }
    return NULL;
}

void reduce_last(double* reduced_src, double* dst, int n, void* callback) {
    double (*fun_ptr)(double, void*) = callback;
    if (n < 1) return;
    for (int i = 0; i < n; ++i) {
        *dst = (*fun_ptr)(reduced_src[i], dst);
    }
```

```
}

void* thread_routine(void* arg) {
    struct thread_arg* t_arg = arg;
    while (*(t_arg->is_finished) < 1) {
        sem_wait((t_arg->t_info->sems_begin) + (t_arg->t_id));
        if (*(t_arg->is_finished) > 0) break;
        void (*routine_ptr)(void*) = t_arg->routine;
        if (t_arg->routine != NULL) {
            (*routine_ptr)(t_arg->data);
        }
        sem_post((t_arg->t_info->sems_end) + (t_arg->t_id));
    }
    pthread_exit(0);
}

void init_threads(struct threads_info* t_info, int* is_finished) {
    t_info->threads = malloc(t_info->n_threads * sizeof(pthread_t));
    t_info->thread_args = malloc(t_info->n_threads * sizeof(struct thread_arg));
    t_info->sems_begin = malloc(t_info->n_threads * sizeof(sem_t));
    t_info->sems_end = malloc(t_info->n_threads * sizeof(sem_t));

    for (int i = 0; i < t_info->n_threads; ++i) {
        (t_info->thread_args)[i].t_id = i;
        (t_info->thread_args)[i].t_info = t_info;
        (t_info->thread_args)[i].is_finished = is_finished;
        sem_init(t_info->sems_begin + i, 0, 0);
        sem_init(t_info->sems_end + i, 0, 0);
        pthread_create(t_info->threads + i, NULL, thread_routine, t_info->thread_args + i);
    }
}

void join_threads(struct threads_info* t_info) {
    for (int i = 0; i < t_info->n_threads; ++i) {
        sem_post(t_info->sems_begin + i);
    }
    for (int i = 0; i < t_info->n_threads; ++i) {
        pthread_join((t_info->threads)[i], NULL);
    }
    free(t_info->threads);
    free(t_info->thread_args);
    free(t_info->sems_begin);
    free(t_info->sems_end);
}

void parallel_separate(void* callback, void* routine, double* src, double* dst, void* args,
int arg_size, int n,
    struct map_data* restrict map_datas = malloc(t_info->n_threads * sizeof(struct map_data));
    int n_chunk = t_info->n_threads < 2 ? n : ceil((double)n / t_info->n_threads);
    int n_done = 0;

    double* restrict reduce_dst;
    if (routine == reduce_routine) {
        reduce_dst = malloc(t_info->n_threads * sizeof(double));
        fill_array(reduce_dst, t_info->n_threads, 0);
    }

    int t_id = 0;
    while (t_id < t_info->n_threads)
    {
        int n_cur_chunk = max(min((n - n_done), n_chunk), 0);

        //назначается чанк задач
        map_datas[t_id].callback = callback;
        map_datas[t_id].src = src + n_done;
        map_datas[t_id].args = args + n_done * arg_size;
        map_datas[t_id].arg_size = arg_size;
```

```
        map_datas[t_id].dst = routine == reduce_routine ? reduce_dst : dst + n_done;
        map_datas[t_id].length = n_cur_chunk;
        map_datas[t_id].n_start = n_done;
        //поток готов у выполнению
        (t_info->thread_args + t_id)->data = map_datas + t_id;
        (t_info->thread_args + t_id)->routine = routine;

        n_done += n_cur_chunk;
        sem_post(t_info->sems_begin + t_id);

    }
    //ожидаем все потоки, чтобы убедиться, что всё выполнено
    for (int i = 0; i < t_info->n_threads; ++i) {
        sem_wait(t_info->sems_end + i);
    }
    if (routine == reduce_routine) reduce_last(reduce_dst, dst, t_info->n_threads, callback);
    free(map_datas);
}



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* sort_routine(void* arg) {
    struct map_data* data = arg;
    if (data->length < 1) return NULL;
    int gap = data->length;
    while (gap > 1) {
        gap = (int)floor(gap / 1.3);
        for (int i = 0; i < data->length - gap; ++i) {
            if (data->src[i] > data->src[i + gap]) {
                double t = data->src[i];
                data->src[i] = data->src[i + gap];
                data->src[i + gap] = t;
            }
        }
    }
    return NULL;
}

void sort_dynamic(double* src, int n, double* dst, struct threads_info* t_info) {
    int n_chunk = t_info->n_threads < 2 ? n : ceil((double)n / t_info->n_threads);

    parallel_separate(NULL, sort_routine, src, dst, NULL, 0, n, t_info);
    double* restrict cpy = malloc(n * sizeof(double));

    parallel_separate(copy, map_routine, src, cpy, NULL, 0, n, t_info);
    parallel_separate(copy, map_routine, src, dst, NULL, 0, n, t_info);
    for (int k = 1; k < t_info->n_threads; ++k)
    {
        int n_done = n_chunk * k;
        int n_cur_chunk = min(n - n_done, n_chunk);
        int n_will_done = n_done + n_cur_chunk;
        merge_sorted(cpy, n_done, src + n_done, n_cur_chunk, dst);
        parallel_separate(copy, map_routine, dst, cpy, NULL, 0, n_will_done, t_info);
    }
    free(cpy);

}
```

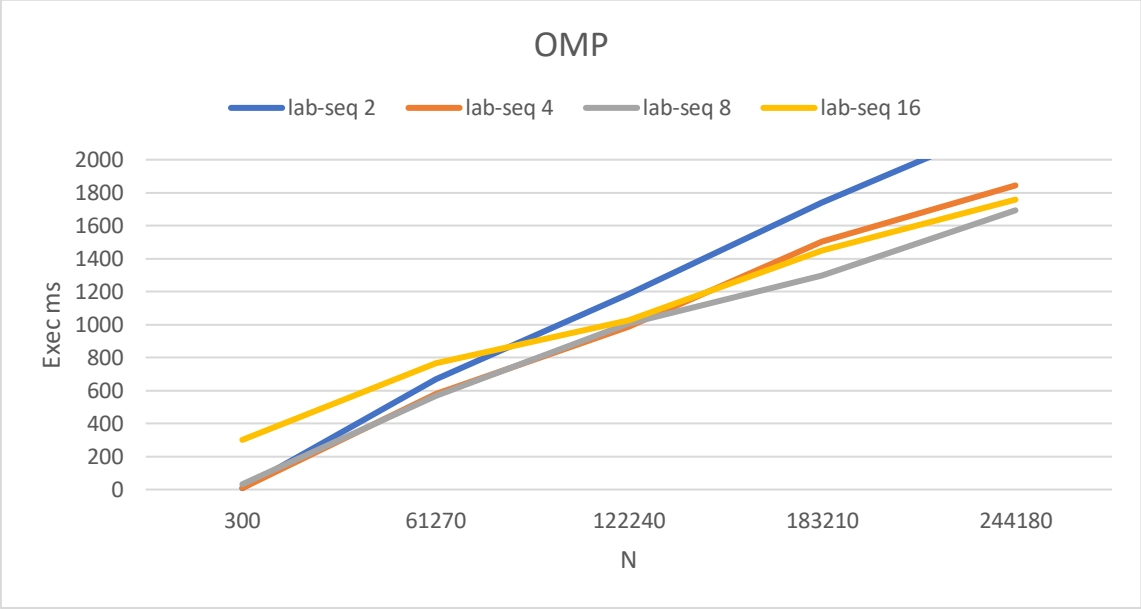
```c
struct progress_arg {
    int* progress;
    int* is_finished;
};

void* progress_routine(void* arg) {
    struct progress_arg* data = arg;
    double time = 0;
    while (*(data->is_finished) < 1) {
        double time_temp = get_time();
        if (time_temp - time < 1) {
            usleep(100);
            continue;
        };
        printf("\nPROGRESS: %d\n", *(data->progress));
        time = time_temp;
    }
    pthread_exit(0);
}


void init_benchmarks(struct threads_info* t_info, int n) {
#ifdef BENCHMARK
    t_info->benchmarking_time = malloc(n * sizeof(double));
    t_info->benchmarking_results = malloc(n * sizeof(double));
    for (int i = 0; i < n; ++i) {
        t_info->benchmarking_results[i] = 0;
    }
#endif
}

void start_benchmark(struct threads_info* t_info, int idx) {
#ifdef BENCHMARK
    t_info->benchmarking_time[idx] = get_time();
#endif
}

void finish_benchmark(struct threads_info* t_info, int idx) {
#ifdef BENCHMARK
    t_info->benchmarking_results[idx] += get_time() - t_info->benchmarking_time[idx];
#endif
}

void show_benchmark_results(struct threads_info* t_info, int n) {
#ifdef BENCHMARK
   printf("\n\nBENCHMARK\n");
    for (int i = 0; i < n; ++i) {
        printf("%f\n", t_info->benchmarking_results[i] * 1000);
    }
    printf("\n");
    free(t_info->benchmarking_time);
    free(t_info->benchmarking_results);
#endif
}

int main(int argc, char* argv[]) {
    struct timeval T1, T2;
    gettimeofday(&T1, NULL);

    const int N = atoi(argv[1]); /* N - array size, equals first cmd param */

    struct threads_info t_info;
    t_info.n_threads = atoi(argv[2]); /* M - amount of threads */

    const int N_2 = N / 2;
    double max = 6;
```

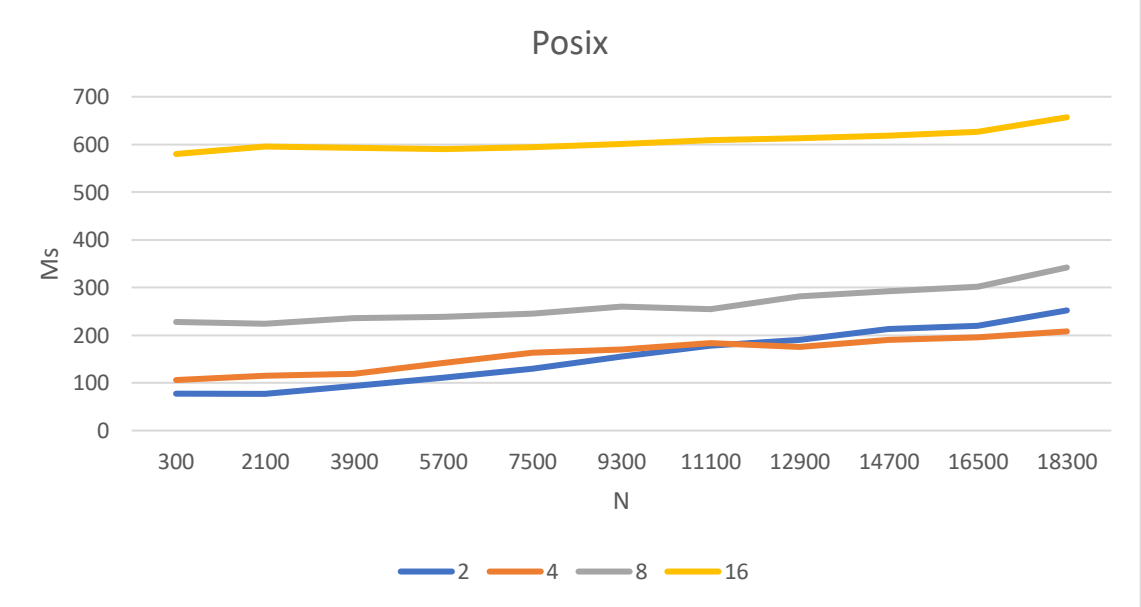
```
    double min = 1;

    double* restrict m1 = malloc(N * sizeof(double));
    double* restrict m2 = malloc(N_2 * sizeof(double));
    double* restrict m2_cpy = malloc(N_2 * sizeof(double));


    int i = 0;
    int is_finished = 0;

    pthread_t thread_progress;
    struct progress_arg arg_progress;
    arg_progress.progress = &i;
    arg_progress.is_finished = &is_finished;
    pthread_create(&thread_progress, NULL, progress_routine, &arg_progress);

    init_threads(&t_info, &is_finished);

    int N_benchmarks = 4;
    init_benchmarks(&t_info, N_benchmarks);

    for (i = 0; i < 100; i++) /* 100 экспериментов */
    {
        double X = 0.0;
        unsigned int seedp = i;

        // generate
        start_benchmark(&t_info, 0);
        for (int j = 0; j < N; ++j) {
            //m1[j] = (rand_r(&seedp) % (max * 100)) / 100.0 + 1;
            //m1[j] = (((double)rand_r(&seedp) / (RAND_MAX)) * (max - min) + min);
            m1[j] = (((double)rand_r(&seedp) / (RAND_MAX)*(max / (max + 1))));
        }
        for (int j = 0; j < N_2; ++j) {
            //m2[j] = max + rand_r(&seedp) % (max * 9);
            //m2[j] = ((double)rand_r(&seedp) / (RAND_MAX)) * (max * 10 - min) + max;
            m2[j] = (((double)rand_r(&seedp) / (RAND_MAX) * (min/(min+1))));
            m2_cpy[j] = m2[j];
        }
        finish_benchmark(&t_info, 0);

        start_benchmark(&t_info, 1);
        // count tanh from sqrt of x
        parallel_separate(copy, map_routine, m2, m2_cpy, NULL, 0, N_2, &t_info);
        parallel_separate(tanh_min, map_routine, m1, m1, NULL, 0, N, &t_info);

        // sum with previous
        start_benchmark(&t_info, 2);
        struct arg_src2* restrict args_sum = malloc(N_2 * sizeof(struct arg_src2));
        args_sum[0].src2 = 0;
        for (int j = 1; j < N_2; ++j) {
            args_sum[j].src2 = m2_cpy[j - 1];
        }
        parallel_separate(sum_prev, map_routine, m2, m2, args_sum, sizeof(struct arg_src2),
N_2, &t_info);
        // count log10(x) ^ E
        parallel_separate(pow_log10, map_routine, m2, m2, NULL, 0, N_2, &t_info);
        free(args_sum);

        // max between m1 and m2 per item
        struct arg_src2* args_max = malloc(N_2 * sizeof(struct arg_src2));
        for (int j = 0; j < N_2; ++j) {
            args_sum[j].src2 = m1[j];
        }
        parallel_separate(get_max, map_routine, m2, m2_cpy, args_max, sizeof(struct arg_src2),
N_2, &t_info);
        finish_benchmark(&t_info, 1);
```

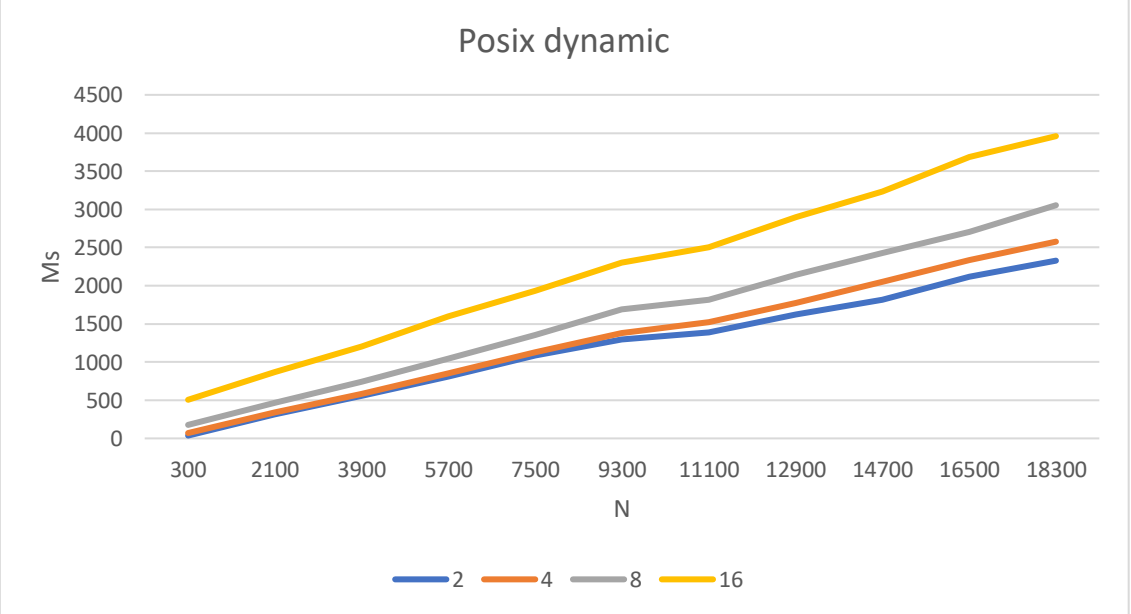
```
        free(args_max);

        // sorting
        start_benchmark(&t_info, 2);
        sort_dynamic(m2_cpy, N_2, m2, &t_info);
        finish_benchmark(&t_info, 2);

        // reduce
        start_benchmark(&t_info, 3);
        int k = 0;
        while (m2[k] == 0 && k < N_2 - 1) k++;
        double m2_min = m2[k];

        // reduce
        struct arg_src2* args_sin_min = malloc(N_2 * sizeof(struct arg_src2));
        for (int j = 0; j < N_2; ++j) {
            args_sin_min[j].src2 = m2_min;
        }
        parallel_separate(map_sin, map_routine, m2, m2_cpy, args_sin_min, sizeof(struct
arg_src2), N_2, &t_info);
        parallel_separate(sum_reduce, reduce_routine, m2_cpy, &X, NULL, 0, N_2, &t_info);
        printf("%f ", X);
        finish_benchmark(&t_info, 3);
        free(args_sin_min);
    }

    is_finished = 1;
    join_threads(&t_info);
    pthread_join(thread_progress, NULL);
    show_benchmark_results(&t_info, N_benchmarks);

    gettimeofday(&T2, NULL);
    print_delta(T1, T2);

    free(m1);
    free(m2);
    free(m2_cpy);
    return 0;
}
```

Результаты

Сравнение времени выполнения

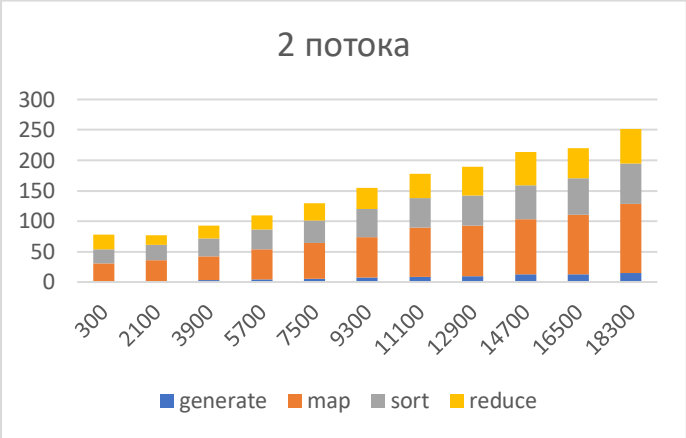


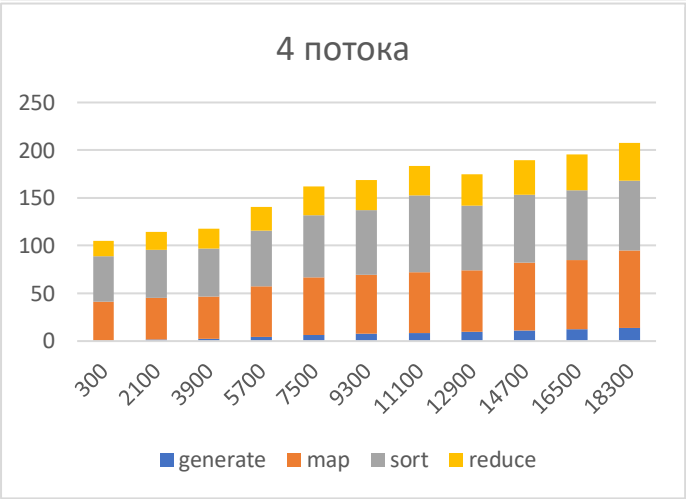


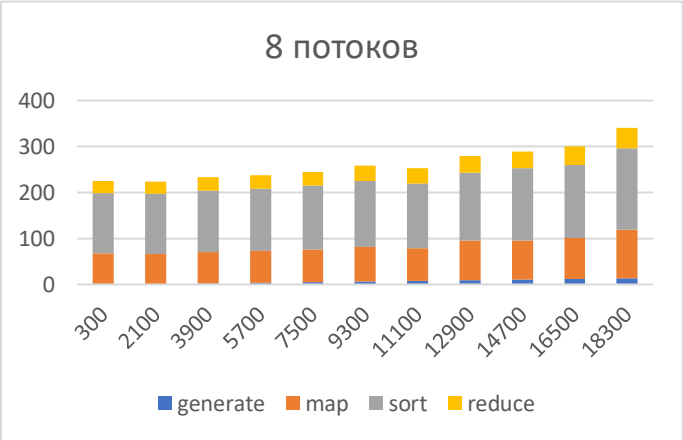


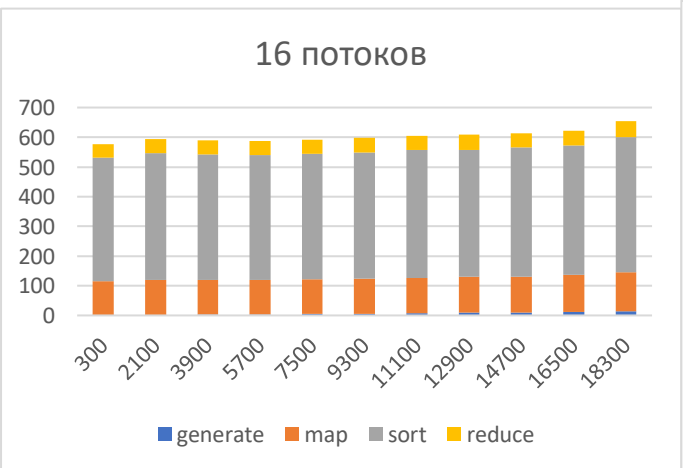
Сравнение времени выполнения на разных участках программы

Posix

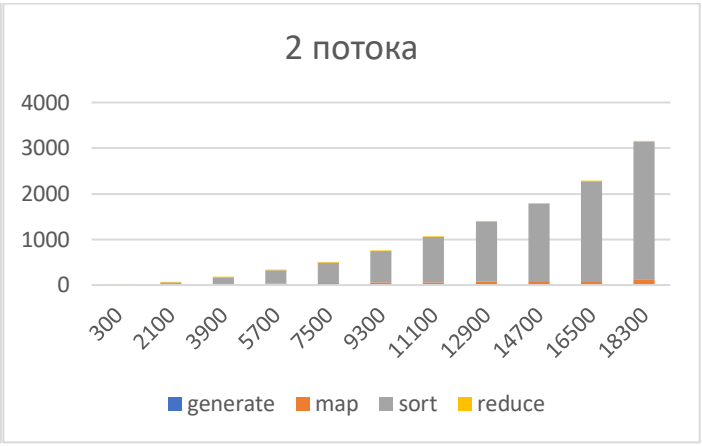


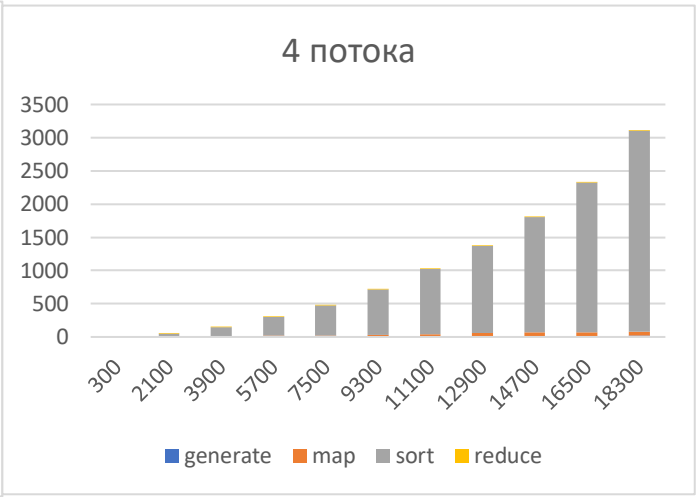


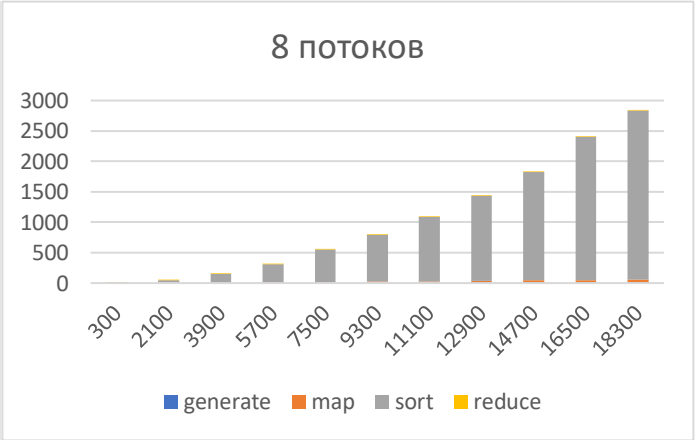


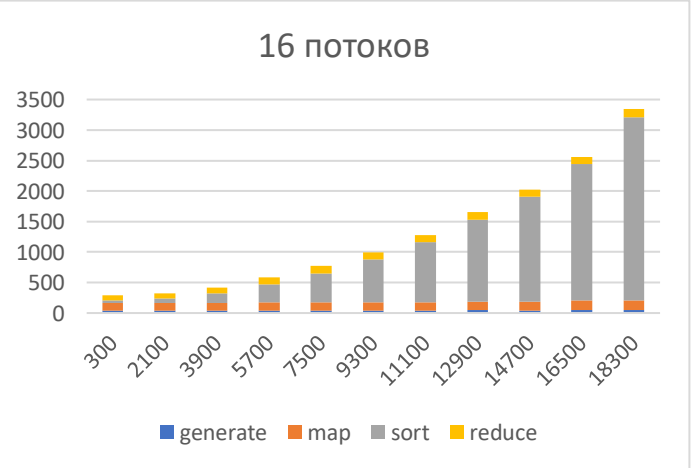


OpenMP









При использовании OPENMP заметно, что больше 90% времени уходит на сортировку, когда при использовании POSIX , сортировка занимает меньше времени относительно всего времени выполнения.

Накладные расходы программиста:

строки Posix ~450 OpenMP~350

дни Posix 3 дня OpenMP 2дня

Вывод:
В результате выполнения лабораторной работы. Результаты выполнения сильно зависят от количества потоков и размеров массива. Реализация с OpenMP кажется более простой. Кроме того, динамическое расписание показало результат значительно хуже.