Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«**Университет ИТМО»**

Факультет ПИиКТ

Дисциплина: Параллельные вычисления

Лабораторная работа 3

OpenMP

Выполнил: Гурин Евгений Иванович

Преподаватель: Жданов Андрей Дмитриевич

Группа: P4116

Санкт-Петербург 2023г.

Задача

Конфигурация

```
Host Name:                 EGURIN-PC
OS Name:                   Microsoft Windows 11 Pro
OS Version:                10.0.22000 N/A Build 22000
OS Manufacturer:           Microsoft Corporation
OS Configuration:          Standalone Workstation
OS Build Type:             Multiprocessor Free
Registered Owner:          user
Registered Organization:   N/A
Product ID:                00331-10000-00001-AA539
Original Install Date:     02.10.2022, 21:59:41
System Boot Time:          20.03.2023, 2:46:00
System Manufacturer:       ASUS
System Model:              System Product Name
System Type:               x64-based PC
Processor(s):              1 Processor(s) Installed.
                           [01]: AMD64 Family 23 Model 113 Stepping 0
AuthenticAMD ~3600 Mhz
BIOS Version:              American Megatrends Inc. 2803, 27.04.2022
Windows Directory:         C:\Windows
System Directory:          C:\Windows\system32
Boot Device:               \Device\HarddiskVolume2
System Locale:             en-us;English (United States)
Input Locale:              en-us;English (United States)
Time Zone:                 (UTC+03:00) Moscow, St. Petersburg
Total Physical Memory:     32 679 MB
Available Physical Memory: 20 506 MB
Virtual Memory: Max Size:  87 975 MB
Virtual Memory: Available: 19 470 MB
Virtual Memory: In Use:    68 505 MB
Page File Location(s):     D:\pagefile.sys
Domain:                    WORKGROUP
Logon Server:              \\EGURIN-PC
Hotfix(s):                 5 Hotfix(s) Installed.
                           [01]: KB5022505
                           [02]: KB5012170
                           [03]: KB5023698
                           [04]: KB5022369
                           [05]: KB5022925
Network Card(s):           4 NIC(s) Installed.
                           [01]: Realtek PCIe 2.5GbE Family Controller
                                 Connection Name: Ethernet
                                 Status:          Media disconnected
                           [02]: Intel(R) Wi-Fi 6 AX200 160MHz
                                 Connection Name: Wi-Fi
                                 DHCP Enabled:    Yes
                                 DHCP Server:     192.168.1.1
                                 IP address(es)
```

```
                                    [01]: 192.168.1.47
                                    [02]: fe80::933b:210e:a9a7:2c6e
                                [03]: Bluetooth Device (Personal Area Network)
                                    Connection Name: Bluetooth Network Connection
                                    Status:          Media disconnected
                                [04]: VirtualBox Host-Only Ethernet Adapter
                                    Connection Name: Ethernet 2
                                    DHCP Enabled:    No
                                    IP address(es)
                                    [01]: 192.168.56.1
                                    [02]: fe80::527e:5766:393d:acc6
Hyper-V Requirements:      A hypervisor has been detected. Features required for
Hyper-V will not be displayed.
```

Результаты работы

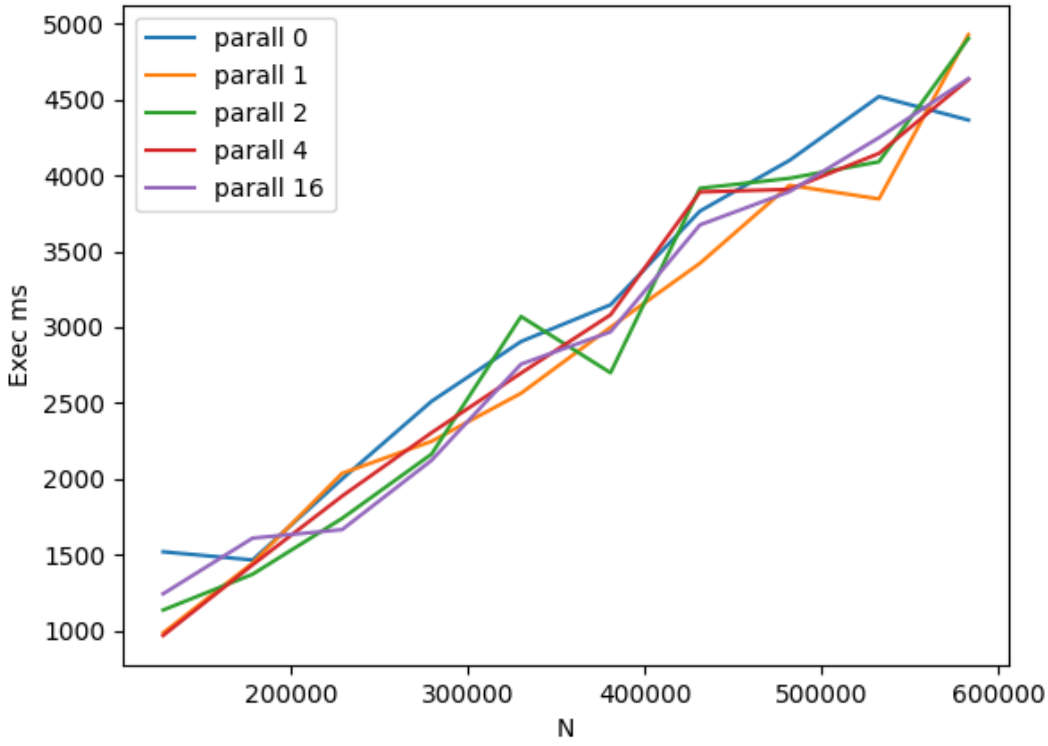
Для экспериментов был выбран компилятор clang

Прямая совместимость была достигнута с помощью проверки

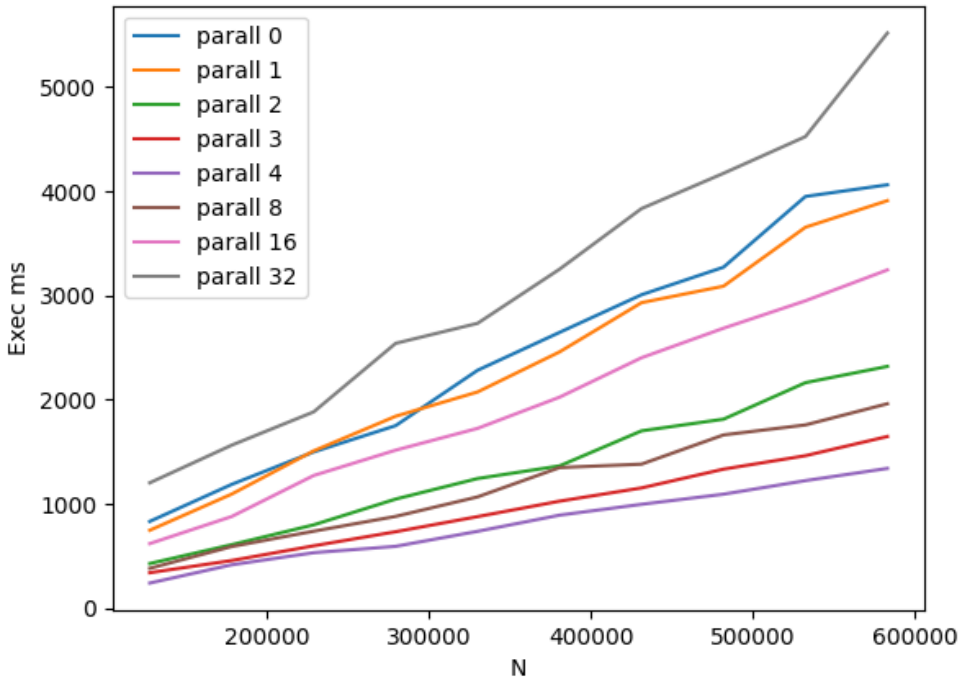
```
#if defined(_OPENMP)
        omp_set_dynamic(0);
        const int M = atoi(argv[2]); /* M - amount of threads */
        omp_set_num_threads(M);
#endif
```

Результаты эксперементов

CLANG (автоматизированное распараллеливание)

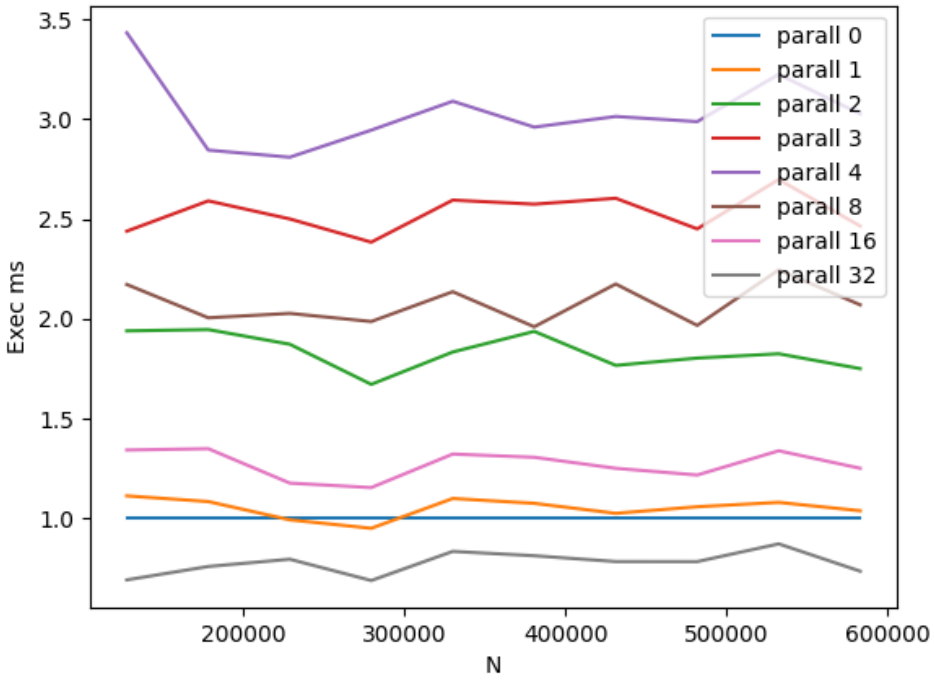


CLANG (OMP без параметра schedule)

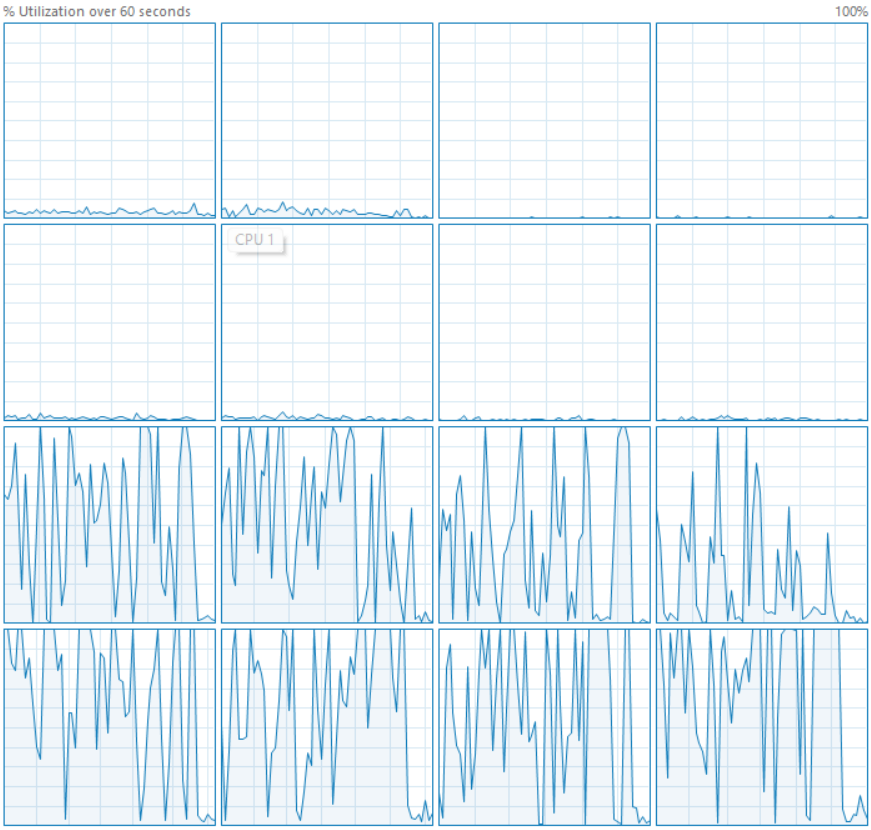


Наблюдается улучшение результатов при увеличении количества потоков до 4, далее ухудшение (хотя процессор 8-ми ядерный)

Параллельное ускорение



Загрузка процессора (стандартный диспетчер задач Windows)

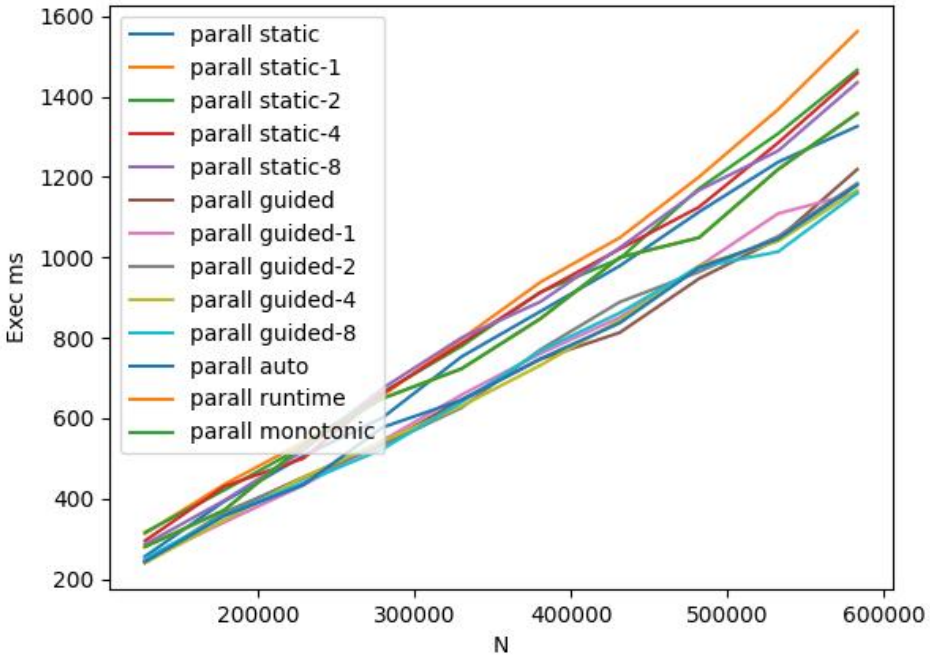


Сравнение различных вариантов schedule

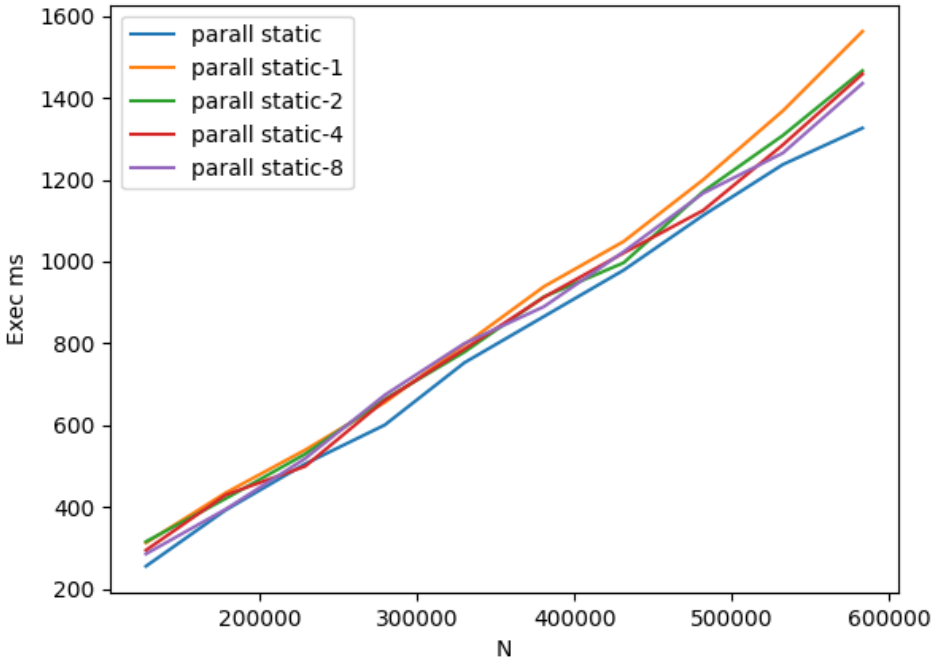
Исследование различных вариаций расписания производились с наилучшим результатом количества потоков (4) на аналогичных значениях параметра N (размерности массива)

Сравнение static, guided, auto, runtime, monotonic на одном графике

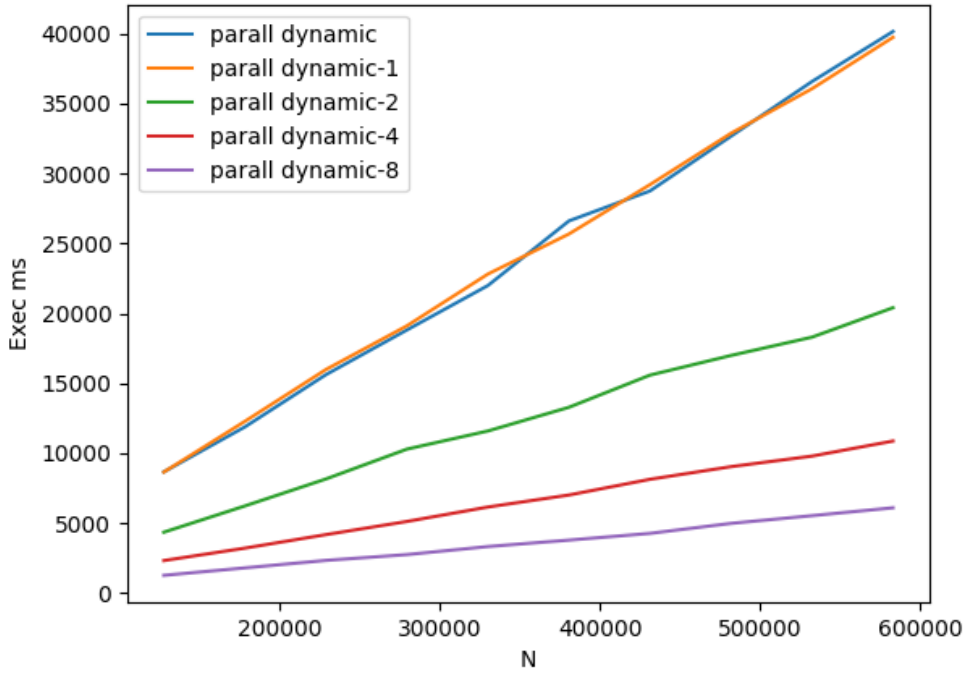
На данном графике не приводится dynamic, так как с ним время работы в разы дольше и различия остальных будут не видны на графике. На графике видно, что наилучшие результаты показывает расписание guided



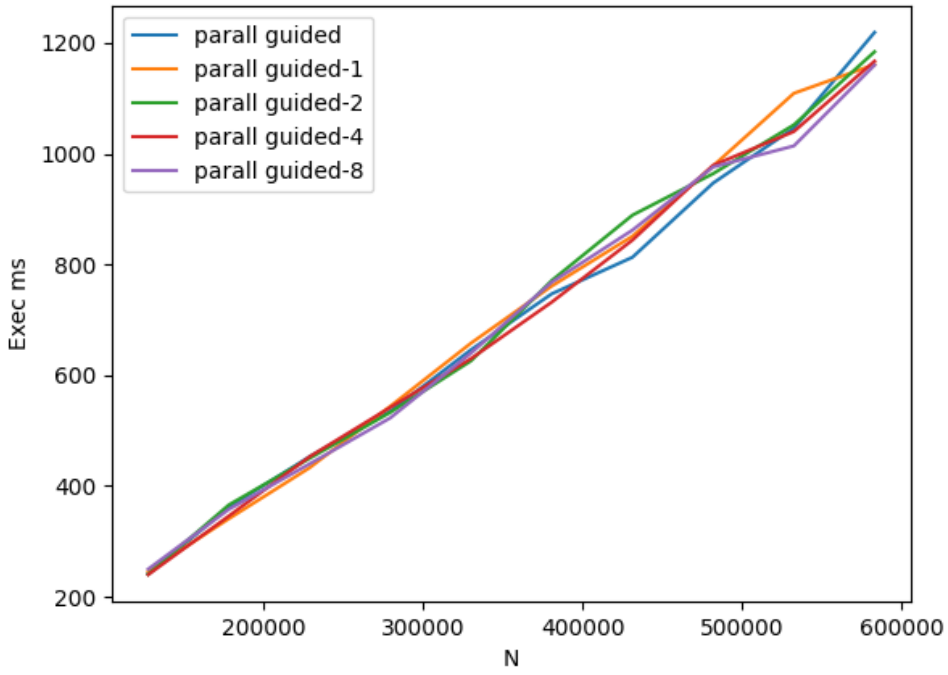
Сравнение static с различным chunk size



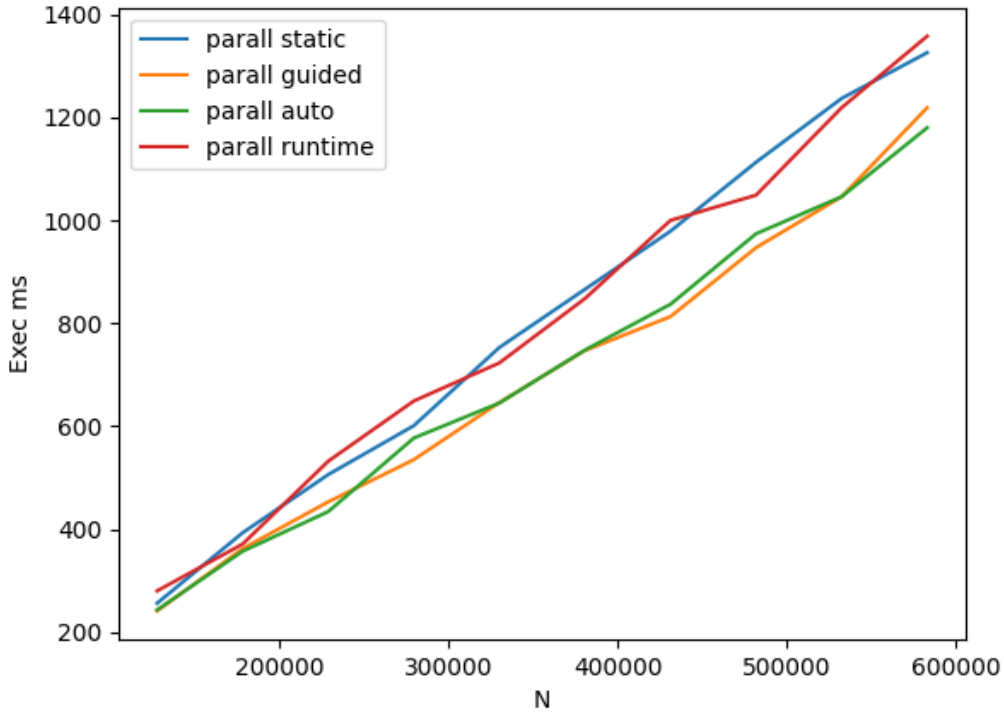
Сравнение dynamic с различным chunk size



Сравнение guided с различным chunk size



Сравнение различных видов расписания с параметром chunk size по умолчанию



Расписание по умолчанию

С помощью метода omp_get_schedule было выяснено, что расписание по умолчанию – dynamic с параметром chunk size 1. Хотя при ручном указании соответствующих параметров результат кардинально отличается и результаты с параметрами по умолчанию больше похожи на результат guided.

Наилучший результат

M (количество потоков) – 4

Расписание (schedule) – guided (с параметром chunk size 4)

При запуске все вычислители (процессоры) равноценны и размеры массивов не меняются. Для других значений размерности массивов могут быть актуальны другие значения параметров

Сложность

Без распараллеливания C1 * N

С распараллеливанием C1 * N / M + C2 * N, где M – количество потоков

Все циклы проходят по элементам массивов без вложений и часть программы не параллельна (заполнение)

Границы выигрыша от распараллеливания

Для поиска соответствующих значений размера массива, когда накладные расходы будут превышать выигрыш от распараллеливания я запускал эксперименты на значениях N < N1 и сужал область поиска.

Для одного эксперимента

График параллельного ускорения для N < 10000

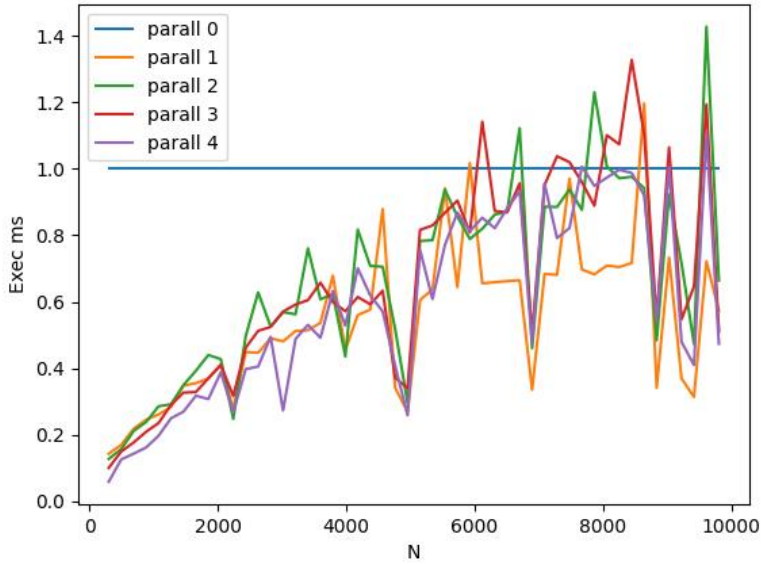
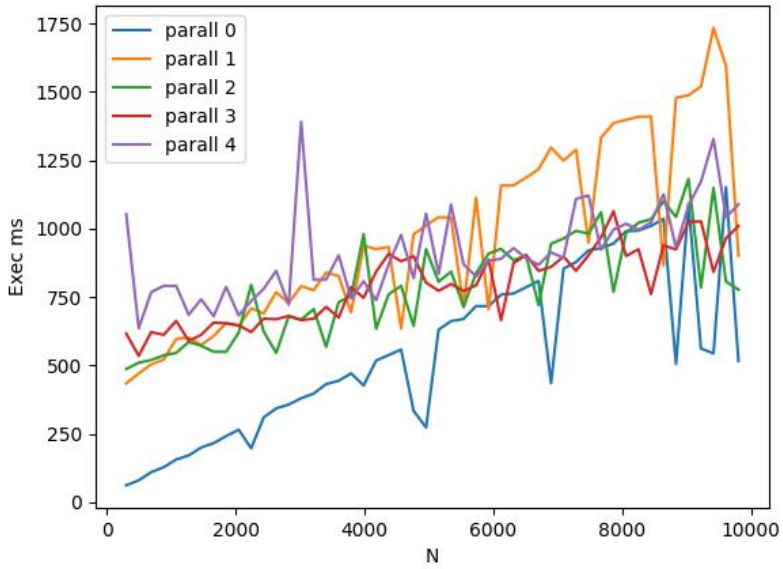


График времени выполнения программы для N < 10000



По графикам видно, что для значений размера массива менее 6000 программа без распараллеливания работает быстрее и параллельное ускорение наблюдается только на значениях больше. После проведенных экспериментов было получено, что время на накладные расходы составляет около 500 наносекунд для 4 потоков, а до N = 6000 время выполнения программы меньше времени на накладные расходы.

Для 100 экспериментов

График параллельного ускорения для N < 1000

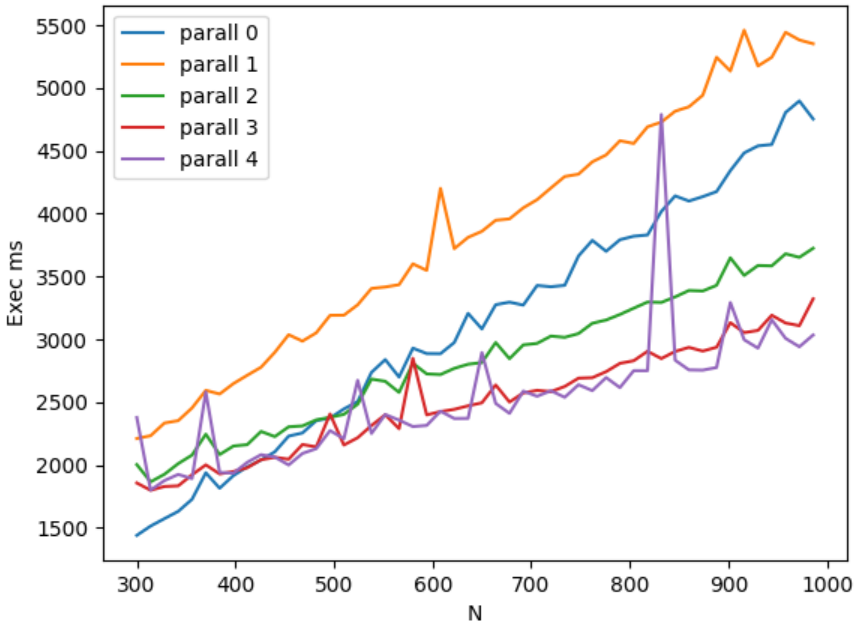
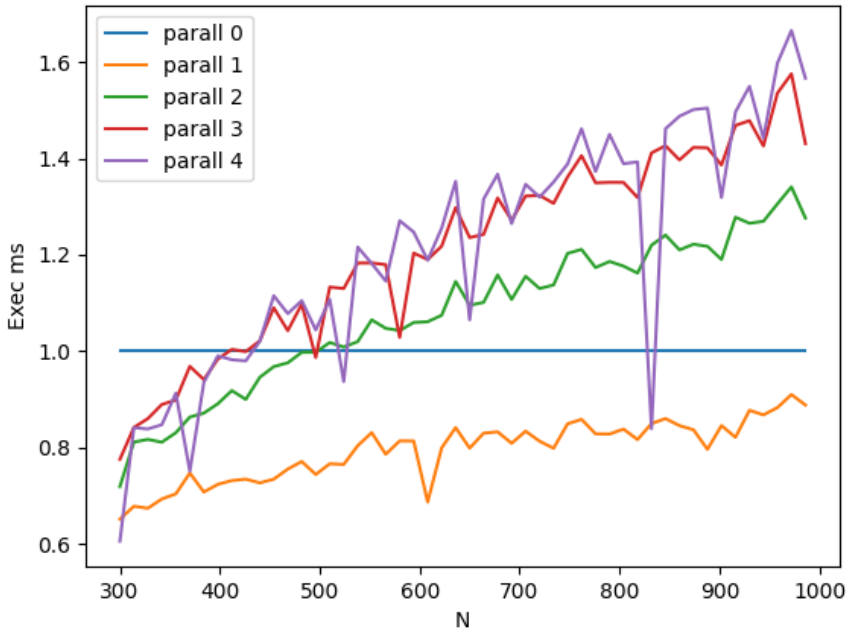
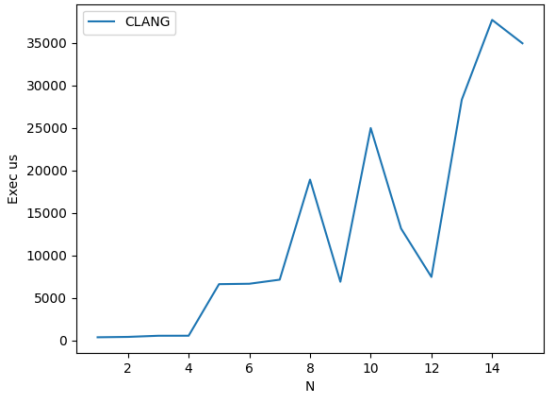


График параллельного ускорения для N < 1000



По графикам видно, что для значений размера массива менее 500 программа без распараллеливания работает быстрее и параллельное ускорение наблюдается только на значениях больше. При использования 1 потока и openMP до N 1000 ускорения в принципе не набюдается из-за накладных расходов по сравнению с программой без распараллеливания.

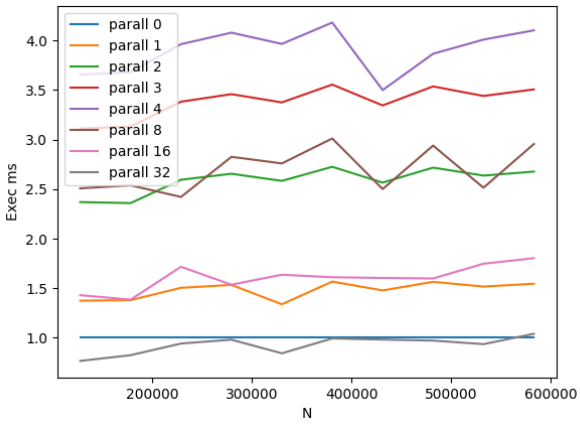
График времени на накладные расходов

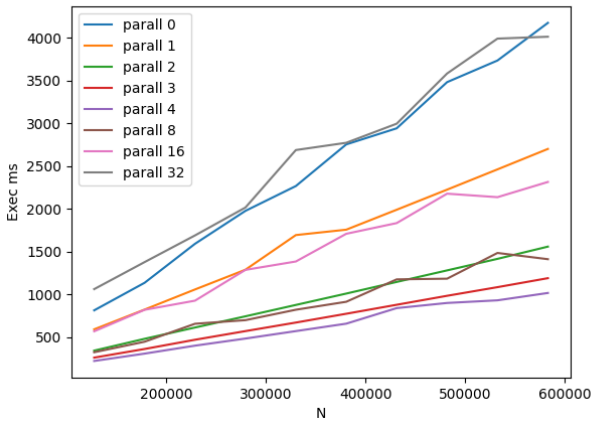


На графике видно, что для количества потоков более 4 время, затрачиваемое на накладные расходы сильно увеличивается (с около 500 наносекунд до 1 мс и больше)

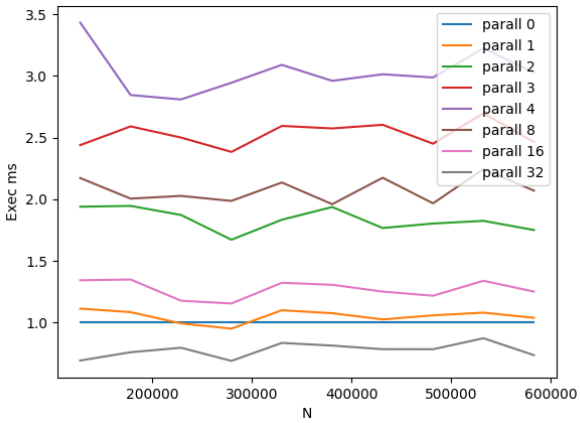
Эксперименты с параметрами оптимизации

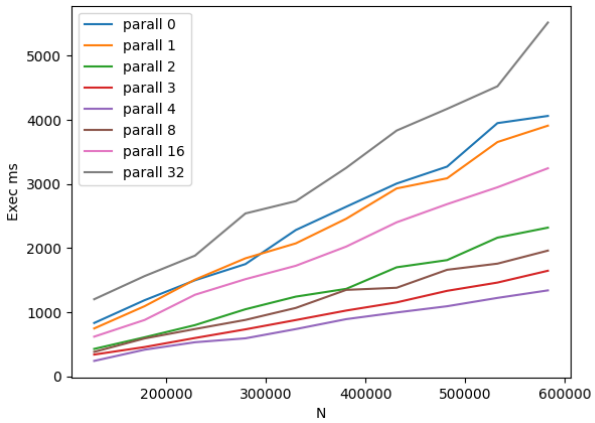
-Ofast -flto



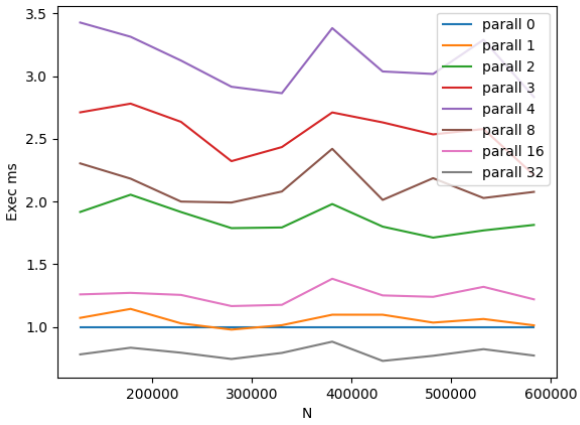


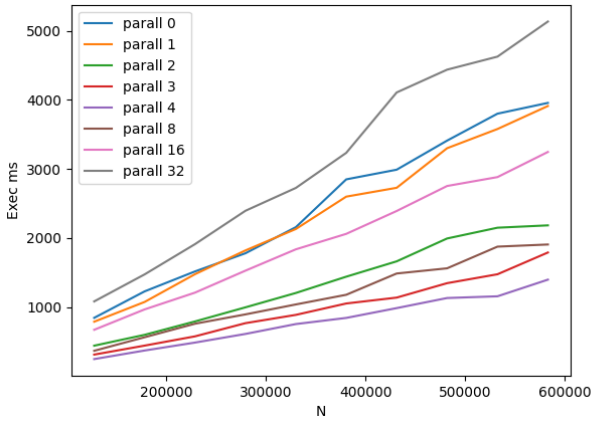
-O3 (те же результаты что в начале отчета)



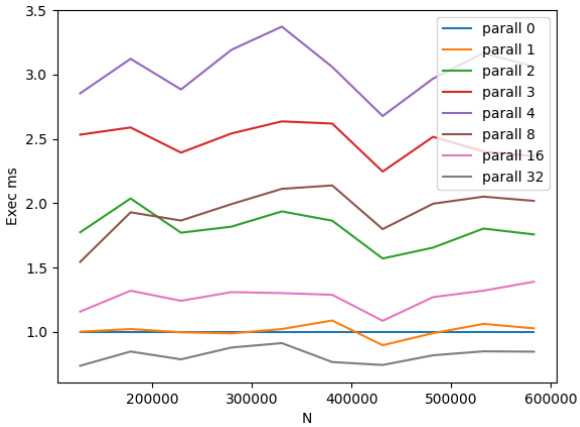


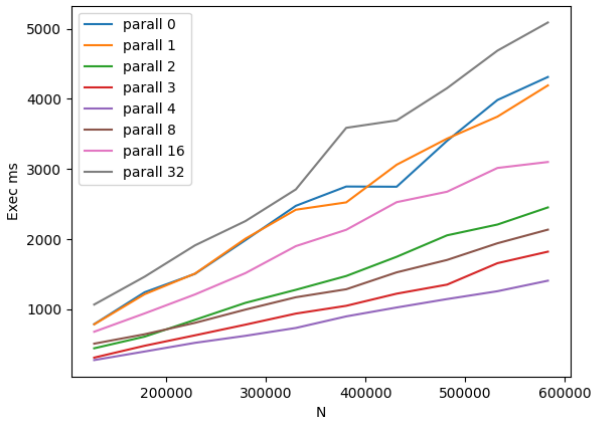
-O2





-O1





Для параметром -O1, -O2, -O3 значения очень похожи, разница во времени выполнения и параллельном ускорении почти не наблюдается. Однако для параметра -Ofast наблюдается прирост в параллельном ускорении и заметно изменение в приросте в для количества параллельных потоков больше 4. Однако при использовании данного флага наблюдалось, что верификация значений не проходила.

Листинг main.c

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


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

void sort_stupid(double *array, int n) {
    int i = 0;
    while (i < n - 1) {
        if (array[i + 1] < array[i]) swap(array + i, array + i + 1), i = 0;
        else i++;
    }
}

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

void print_delta(struct timeval T1, struct timeval T2) {
    long delta_ms = 1000 * (T2.tv_sec - T1.tv_sec) + (T2.tv_usec - T1.tv_usec) /
1000;
    printf("\n%ld\n", delta_ms);
}

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

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

    const int N_2 = N / 2;
    const int A = 280;

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

    #if defined(_OPENMP)
        omp_set_dynamic(0);
        const int M = atoi(argv[2]); /* M - amount of threads */
        omp_set_num_threads(M);
    #endif
```

```
    for (unsigned int i = 0; i < 1; i++) /* 100 экспериментов */
    {
        double X = 0;
        unsigned int seedp = i;


        for (int j = 0; j < N; ++j) {
            m1[j] = (rand_r(&seedp) % (A * 100)) / 100.0 + 1;
        }

        // generate 2
        for (int j = 0; j < N_2; ++j) {
            m2[j] = A + rand_r(&seedp) % (A * 9);
        }

        #pragma omp parallel default(none) shared(N, N_2, A, m1, m2, m2_cpy, i,
X)
        {
            #pragma omp for
            for (int j = 0; j < N_2; ++j) {
                m2_cpy[j] = m2[j];
            }

            // map
            #pragma omp for
            for (int j = 0; j < N; ++j) {
                m1[j] = 1 / tanh(sqrt(m1[j]));
            }
            #pragma omp for
            for (int j = 1; j < N_2; ++j) {
                m2[j] = m2[j] + m2_cpy[j - 1];
            }
            #pragma omp for
            for (int j = 1; j < N_2; ++j) {
                m2[j] = pow(log10(m2[j]), M_E);
            }

            #pragma omp for
            for (int j = 0; j < N_2; ++j) {
                m2[j] = m2[j] > m1[j] ? m2[j] : m1[j] ;
            }

            // sort_stupid(m2, N_2);

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

            #pragma omp for
            for (int j = 0; j < N_2; ++j) {
                m2_cpy[j] = 0;
                if((int)(m2[j] / m2_min) % 2 == 0) m2_cpy[j] = sin(m2[j]);
            }
```

```
            #pragma omp for reduction(+ : X)
            for (int j = 0; j < N_2; ++j) {
                X += m2_cpy[j];
            }
        }
        printf("%f ", X);
    }
    gettimeofday(&T2, NULL);
    print_delta(T1, T2);
    return 0;
}
```

Программа для поиска времени на накладные расходы

Для поиска накладных расходов я воспользовался способом, описанным в лекции и замерял время исполнения программы, которая вызывает fwSetNumThreads

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <sys/time.h>
#include <omp.h>


void print_delta(struct timeval T1, struct timeval T2) {
    long delta_us = 1000000 * (T2.tv_sec - T1.tv_sec) + (T2.tv_usec -
T1.tv_usec);
    printf("%ld\n", delta_us);
}

int main(int argc, char *argv[]) {
    struct timeval T1, T2;
    gettimeofday(&T1, NULL);
    const int M = atoi(argv[1]); /* M - amount of threads */
    omp_set_dynamic(0);
    omp_set_num_threads(M);
    int s = 0;
    #pragma omp parallel
    {
        s++;
    }
    gettimeofday(&T2, NULL);
    print_delta(T1, T2);
    return 0;
}
```

Вывод

По сравнению с использованием автоматического распараллеливания или использования программы без распараллеливания максимальное наблюдаемое параллельное ускорение составляет около 3.5. При сравнении различных параметров расписание наибольший прирост наблюдается со значением guided. Кроме того получены интересные результаты с параметром dynamic, при котором время выполнения программы существенно увеличивалось.

Были подсчитаны значения времени на накладные расходы. Для количества потоков до 4 все накладные расходы укладывались в 500 наносекунд. При дальнейшем увеличении наблюдается существенное увеличение времени, затрачиваемого на накладные расходы.

Для значений N < N1 было найдено значение, когда использование распараллеливания увеличивает время выполнения. Для 100 экспериментов такое значение было около 500 элементов.

Было проведено 3 дополнительных эксперимента для различных параметров оптимизации. Было обнаружено, что использование параметра -Ofast увеличивает возможный прирост, однако значения перестают проходить валидацию.