**Смирнов Иван ИУ7-22Б - 2023г.**

**Отчет**

**Задание №4**

**Исследование характеристик программного обеспечения**

*Целью* работы является изучение расположения в памяти локальных переменных и представления структур.  
**Задание №1**

По условию задания был проведен эксперимент замера среднего времени выполнения функции nanosleep для задержки в 1с, 100мс, 50мс, 10мс разными методами (gettimeofday, clock\_gettime, clock, \_\_rdtsc). Для этого было создано несколько программ с разными методами замера времени (см. папку /task\_4/1):

Вариант 1 – **gettimeofday (main-1.c)**

#define \_POSIX\_C\_SOURCE 199309L

#include <stdio.h>

#include <time.h>

#include <sys/time.h>

#define OK 0

/\*

Игорь Владимирович!

Если Вы это читаете, значит хотите увидеть исправленную ошибку с онлайн-семинара (кстати именно мой файл Вы показывали)

А именно - устранить переобъявление структуры из системного заголовочного файла

Хочу сказать, что без переопределния компилятор gcc начинает ругаться, якобы я

timespec взял из ниоткуда. Не знаю, как починить.

P.S. Уже нашел...

\*/

// struct timespec

// {

// time\_t tv\_sec;

// long tv\_nsec;

// };

int nanosleep(const struct timespec \*req, struct timespec \*rem);

// Замерительный метод - gettimeofday

int main (void)

{

struct timespec tw = {0,100\*1e+6};

struct timespec tr;

struct timeval current\_time;

unsigned long long beg, end;

gettimeofday(&current\_time, NULL);

beg = current\_time.tv\_sec \* 1000ULL + current\_time.tv\_usec / 1000ULL;

nanosleep(&tw, &tr);

gettimeofday(&current\_time, NULL);

end = current\_time.tv\_sec \* 1000ULL + current\_time.tv\_usec / 1000ULL;

printf("%llu\n", end-beg);

return OK;

}

Вариант 2 – **clock\_gettime (main-2.c)**

#define \_POSIX\_C\_SOURCE 199309L

#include <time.h>

#include <stdio.h>

#include <unistd.h>

#define OK 0

// Замерительный метод - clock\_gettime

int main (void)

{

struct timespec tw = {0,100\*1e+6};

struct timespec tr;

struct timespec start, ending;

unsigned long long beg, end;

clock\_gettime( CLOCK\_MONOTONIC\_RAW, &start );

beg = start.tv\_sec \* 1000ULL + start.tv\_nsec / 1000ULL;

nanosleep(&tw, &tr);

clock\_gettime( CLOCK\_MONOTONIC\_RAW, &ending );

end = ending.tv\_sec \* 1000ULL + ending.tv\_nsec / 1000ULL;

printf("%llu\n", end-beg);

return OK;

}

Вариант 3 – **clock (main-3.c)**

#define \_POSIX\_C\_SOURCE 199309L

#include <time.h>

#include <stdio.h>

#include <unistd.h>

#define OK 0

int nanosleep(const struct timespec \*req, struct timespec \*rem);

// Замерительный метод - clock()

int main (void)

{

struct timespec tw = {0,100\*1e+6};

struct timespec tr;

double time\_spent = 0;

clock\_t begin = clock();

nanosleep(&tw, &tr);

clock\_t end = clock();

time\_spent += (double)(end - begin);

printf("%f\n", time\_spent);

return OK;

}

Вариант 4 – **\_\_rdtsc (main-4.c)**

#define \_POSIX\_C\_SOURCE 199309L

#include <time.h>

#include <stdio.h>

#include <unistd.h>

#include <x86gprintrin.h>

#define OK 0

int nanosleep(const struct timespec \*req, struct timespec \*rem);

// Замерительный метод - \_\_rdtsc()

int main (void)

{

struct timespec tw = {0,1000\*1e+6};

struct timespec tr;

unsigned long long t1 = \_\_rdtsc();

nanosleep(&tw, &tr);

unsigned long long t2 = \_\_rdtsc();

printf("%llu\n", (t2 - t1)/CLOCKS\_PER\_SEC);

return OK;

}

Так же в рабочей папке присутствуют скрипты для удобства работы с измерениями.

***build\_release.sh ($key) –*** скрипт сборки программы с ключом (ключ указывает на номер собираемой программы, например, команда **./build\_release.sh 3** соберет программу main-3.c).

#!/bin/bash

con="-"

if [ -z "$1" ]

then

    key=""

else

    key="${con}$1"

fi

gcc -std=c99 -Wall -Werror -Wpedantic -Wextra -Wfloat-equal -Wfloat-conversion -Wvla -c main"$key".c

gcc main"$key".o -o app.exe -lm

***dataset.sh ($key) –*** скрипт, который выполняет 20 тестовых измерений времени у программы (номер программы определяется ключом). Результаты измерений помещаются в текстовые файлы вида **./dataset/t\_$key\_$i.txt**, где i – номер измерения (теста).

#!/bin/bash

if [ -z "$1" ]

then

    echo "please, enter programm key!"

else

    ./build\_release.sh "$1"

    for (( i=1; i <= 20; i++ ))

    do

        echo "test-'$i'"

        rm -f ./dataset/t\_"$1"\_"$i".txt

        ./app.exe >> ./dataset/t\_"$1"\_"$i".txt

    done

    echo "dataset done!"

fi

***get\_avg.sh ($key) –*** скрипт, который на основе данных, полученных из **dataset.sh**, считает среднее арифметическое измерений и записывает его в файл **./avg/t\_$key.txt**.

#!/bin/bash

if [ -f "./dataset/t\_'$1'\_1.txt" ]

then

    summ=0

    n=0

    for (( i=1; i <= 500; i++ ))

    do

        while read -r n; do

            summ=$(( summ + n ))

        done < "./dataset/t\_'$1'\_'$i'.txt"

    done

    avg=$(( summ / 20 ))

    rm -f ./avg/t\_"$1".txt

    echo "$avg" >> ./avg/t\_"$1".txt

else

    echo "please, enter programm key!"

fi

Вспомогательные скрипты **check\_scripts.sh** (проверка shellcheck всех скриптов), **chmod.sh** (выдача права на изменение для всех скриптов) и **clean.sh** (очистка временных файлов, а также текстовых файлов из каталогов ./dataset и ./avg) были взяты из лабораторных работ курса “Программирование на языке Си”. Данные 3 скрипта также будут использованы при решении “Задания 2”.

Ниже приведена таблица измерений (время измеряется в мс):

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Реальное время | gettimeofday | clock\_gettime | clock | \_\_rdtsc |
| 1000 | 1000 | 14060 | 0.8 | 2501 |
| 100 | 102 | 7377 | 0.05 | 255 |
| 50 | 53 | 1035 | 0.07 | 126 |
| 10 | 12 | 13625 | 0.02 | 31 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Метод | Время задержки, мс | Результат измерений, мс | Кол-во повторов | RSE, % | Абсолютная ошибка, мс | Относительная ошибка, % |
| gettimeofday | 10 | 12 | 500 | 4.147416502144999 | 2 | 20 |
| clock\_gettime | 10 | 12826.65(тиков) | 500 | 3.6604302837146787 | - | - |
| clock | 10 | 65.75(тиков) | 500 | 31.65138561899378 | - | - |
| \_\_rdtsc | 10 | 30.85 | 500 | 4.59184474852946 | 21 | 210 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Метод | Время задержки, мс | Результат измерений, мс | Кол-во повторов | RSE, % | Абсолютная ошибка, мс | Относительная ошибка, % |
| gettimeofday | 50 | 53.7 | 500 | 1.2462744565113602 | 3.7 | 7.4 |
| clock\_gettime | 50 | 9.223e+17(тиков) | 500 | 99.99 | - | - |
| clock | 50 | 211.75(тиков) | 500 | 21.452267794819708 | - | - |
| \_\_rdtsc | 50 | 136.6 | 500 | 3.418208239709306 | 86.6 | 173.2 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Метод | Время задержки, мс | Результат измерений, мс | Кол-во повторов | RSE, % | Абсолютная ошибка, мс | Относительная ошибка, % |
| gettimeofday | 100 | 100.95 | 500 | 0.3088937348375082 | 0.95 | 0.95 |
| clock\_gettime | 100 | 1.844e+18(тиков) | 500 | 68.82472016116475 | - | - |
| clock | 100 | 52.75(тиков) | 500 | 17.615184581990082 | - | - |
| \_\_rdtsc | 100 | 250.7 | 500 | 0.1689841825003735 | 150.7 | 150.7 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Метод | Время задержки, мс | Результат измерений, мс | Кол-во повторов | RSE, % | Абсолютная ошибка, мс | Относительная ошибка, % |
| gettimeofday | 1000 | 1002.0 | 500 | 0.7288156290931648 | 2 | 0.2 |
| clock\_gettime | 1000 | 1.844e+18(тиков) | 500 | 68.15391016116463 | - | - |
| clock | 1000 | 204.05(тиков) | 500 | 25.64348118522957 | - | - |
| \_\_rdtsc | 1000 | 2670.3 | 500 | 2.5973288019696126 | 1670.3 | 167.03 |

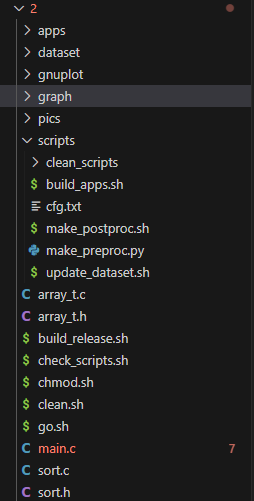
Как видно из таблицы наиболее точный метод – **gettimeofday.** Именно этот метод был использован при решении задания №2.

Метод \_\_rdtsc имеет погрешность результата почти в 1.5 раза во всех рассматриваемых случаях. То есть присутствует закономерность, однако смещение в 1.5 раза - достаточно большое.

Методы clock\_gettime и clock (из данных таблицы) являются самыми нестабильными. На разных машинах (Ubuntu 22/ Windows 11) функции выдают разные результаты. Clock() сообщает, сколько процессорного времени используется; процессорное время в свою очередь зависит от количества активных потоков (которое в разные состояния работы компьютера может быть разным). Из-за этого пользователь получает не тот результат, который хотел бы увидеть.

**Задание №2**

В данном задании необходимо проанализировать время выполнения трех разных реализаций сортировки выбором (selection sort) с разными типами оптимизации (О0 и О2) на случайно-отсортированном массиве, а также на отсортированном в прямом порядке.



(рис.1 – файловая структура задания №2)

Разные реализации сортировки основаны на разном обращении к элементам массива. Далее приведен код (на языке Си) каждой из реализаций.

1. Использование операции индексации a[i]

// Реализация 1

// Функция находит минимум в диапазоне от strat\_ind до end\_ind

size\_t find\_min\_elem1(const int a[], size\_t start\_ind, size\_t end\_ind)

{

    size\_t min\_elem = start\_ind;

    for (size\_t j = start\_ind; j < end\_ind; j++)

    {

        if (a[j] < a[min\_elem])

        {

            min\_elem = j;

        }

    }

    return min\_elem;

}

// Функция сортировки выбором

void selection\_sort1(int \*a, size\_t a\_size)

{

    size\_t min\_elem = 0;

    int tmp\_elem = 0;

    for (size\_t i = 0; i < a\_size; i++)

    {

        min\_elem = find\_min\_elem1(a, i, a\_size);

        tmp\_elem = a[i];

        a[i] = a[min\_elem];

        a[min\_elem] = tmp\_elem;

    }

}

1. Использование замены операции индексации на выражение \*(a + i)

// Реализация 2

size\_t find\_min\_elem2(const int a[], size\_t start\_ind, size\_t end\_ind)

{

    size\_t min\_elem = start\_ind;

    for (size\_t j = start\_ind; j < end\_ind; j++)

    {

        if (\*(a + j) < \*(a + min\_elem))

        {

            min\_elem = j;

        }

    }

    return min\_elem;

}

void selection\_sort2(int \*a, size\_t a\_size)

{

    size\_t min\_elem = 0;

    int tmp\_elem = 0;

    for (size\_t i = 0; i < a\_size; i++)

    {

        min\_elem = find\_min\_elem2(a, i, a\_size);

        tmp\_elem = \*(a + i);

        \*(a + i) = \*(a + min\_elem);

        \*(a + min\_elem) = tmp\_elem;

    }

}

1. Использование указателей для работы с массивом

// Реализация 3

void selection\_sort3(int \*pb, int \*pe)

{

    int min\_elem = 0;

    int tmp\_elem = \*pb;

    for (int i = 0; i < (pe - pb); i++)

    {

        min\_elem = i;

        for (int j = i; j < (pe - pb); j++)

        {

            //printf("l:%dr:%d\n", \*(pb + j), min\_elem);

            if (\*(pb + j) < \*(pb + min\_elem))

            {

                min\_elem = j;

            }

        }

        tmp\_elem = \*(\*(&(pb)) + i);

        \*(pb + i) = \*(pb + min\_elem);

        \*(pb + min\_elem) = tmp\_elem;

    }

}

Все реализации находятся в файле *sort.c*. Описание каждой из реализаций можно прочитать в заголовочном файле *sort.h*.

Также были реализованы функции генерации списка случайно-отсортированных чисел (*init*), причем массив одно размера (например 100 элементов) всегда заполняется одними и теми же случайными числами, а также уже отсортированного (*init sorted*). Описание функций находится в заголовочном файле *array\_t.h*; сами функции в *array\_t.c*.

Листинг основной программы (***main.c***):

#define \_POSIX\_C\_SOURCE 199309L

#include <stdio.h>

#include <stdlib.h>

#include <time.h>

#include <sys/time.h>

#include "array\_t.h"

#include "sort.h"

#define OK 0

#define ERR\_IO 1

#ifndef NMAX

#error NMAX IS NOT DEFINED

#endif

#ifndef SORT\_TYPE

#error TYPE IS NOT DEFINED

#endif

#ifndef ARR\_TYPE

#error ARR\_TYPE IS NOT DEFINED

#endif

typedef int array\_t[NMAX];

int nanosleep(const struct timespec \*req, struct timespec \*rem);

// Замерительный метод - gettimeofday

int main(int argc, char \*\*argv)

{

    if (argc != 2)

        return ERR\_IO;

    array\_t a;

    int sort\_type = SORT\_TYPE;

    int size = atoi(argv[1]);

    int array\_type = ARR\_TYPE;

    switch (array\_type)

    {

        case 1:

            init(a, size);

            break;

        case 2:

            init\_sorted(a, size);

            break;

    }

    struct timeval current\_time;

    unsigned long long beg, end;

    // Действия

    switch(sort\_type)

    {

        case 1:

            gettimeofday(&current\_time, NULL);

            beg = current\_time.tv\_sec \* 1000ULL + current\_time.tv\_usec / 1000ULL;

            selection\_sort1(a, size);

            gettimeofday(&current\_time, NULL);

            end = current\_time.tv\_sec \* 1000ULL + current\_time.tv\_usec / 1000ULL;

            break;

        case 2:

            gettimeofday(&current\_time, NULL);

            beg = current\_time.tv\_sec \* 1000ULL + current\_time.tv\_usec / 1000ULL;

            selection\_sort2(a, size);

            gettimeofday(&current\_time, NULL);

            end = current\_time.tv\_sec \* 1000ULL + current\_time.tv\_usec / 1000ULL;

            break;

        case 3:

            gettimeofday(&current\_time, NULL);

            beg = current\_time.tv\_sec \* 1000ULL + current\_time.tv\_usec / 1000ULL;

            selection\_sort3(a, (a + size));

            gettimeofday(&current\_time, NULL);

            end = current\_time.tv\_sec \* 1000ULL + current\_time.tv\_usec / 1000ULL;

            break;

        default:

            return ERR\_IO;

    }

    printf("%llu\n", (end - beg));

    return OK;

}

Программу необходимо запустить с одним аргументом, который отвечает за размер массива (в программе это переменная size). Такие переменные как максимальный размер статического массива (NMAX), тип сортировки (SORT\_TYPE), тип массива (ARR\_TYPE) определяются на этапе сборки. Программа выводит на экран время работы выбранной сортировки в миллисекундах (0.001 с.).

Чтобы проанализировать время для разного размера массива, разных типов оптимизации и разных реализаций сортировок, была написана целая анализирующая система. Необходимо запустить скрипт ***go.sh***.

#!/bin/bash

./scripts/build\_apps.sh

./scripts/update\_dataset.sh

./scripts/clean\_scripts/clean\_graph.sh

python3 ./scripts/make\_preproc.py

./scripts/make\_postproc.sh

Проанализируем работу скрипта. **(1)** Сначала из папки scripts запускается скрипт ***build\_apps.sh***, который собирает все возможные версии программы (с двумя типами компиляции, двумя типами списков и тремя типами сортировок, то есть собирается в сумме 2\*2\*3=12 различных файлов).

build\_apps.sh

Вся информация о сборке программы хранятся в файле ***./scripts/cfg.txt***

***cfg.txt:***

O0 O2

20

1 2 3

10000

1 2

1 10 50 100 250 500 1000 2000 3000 4000 5000 6000 7000 8000 9000 10000

В первой строке написаны типы оптимизации (О0 О2). Во второй строке написано количество проводимых измерений (тестов), то есть сколько раз запустится каждый из 12 исполняемых файлов. В третьей строке расположены разные реализации сортировки (описаны ранее). В четвертой строке написано максимальное количество элементов в массиве (по условию задачи оно рано 10000). В пятой строке написаны все возможные типы массива (1 – случайный; 2 - отсортированный). В шестой строке написаны все тестируемые размеры массива.  
Далее все 12 исполняемых файлов собираются с помощью скрипта ***build\_release.sh***

Все исполняемые файлы помещаются в папку **apps**

**(2)** Далее запускается скрипт ***./scripts/update\_data.sh***, который запускает tests раз (в данном случае 20) на разных размерах массива каждый из исполняемых файлов. Результаты (время в мс) помещаются в текстовые файлы в папку dataset. При повторном запуске скрипта новые измерения так же поместятся в те же самые текстовые файлы из dataset.

**(3)** Далее запускается скрипт ***./scripts/make\_preproc.py,*** который на основе данных из **dataset** формирует новые данные, необходимые для дальнейшего анализа (среднее, минимум и максимум, медианное значение, верхний и нижний квартили). Все полученные данные скрипт сохраняет в текстовых файлах в папку ***graph.*** Перед запуском скрипта удаляется старый “graph” (если существовал) с помощью вспомогательного скрипта **clean\_graph.sh.**

Данные из graph выглядят примерно так:

104 84 50 64 94 100 122 8000

104 84 50 64 94 100 122 8000

108 84 50 64 94 100 122 8000

122 84 50 64 94 100 122 8000

71 98 71 82 99 111 140 9000

74 98 71 82 99 111 140 9000

75 98 71 82 99 111 140 9000

78 98 71 82 99 111 140 9000

79 98 71 82 99 111 140 9000

1-ый столбец – время из dataset

2-ой столбец – полученное среднее

3-ий столбец – минимум

4-ый столбец – нижний квартиль

5-ый столбец – медианное значение

6-ой столбец – верхний квартиль

7-ой столбец – максимум

8-ой столбец – размер массива

На основе этих данных можно построить графики зависимости времени сортировки от количества элементов в массиве.

Так же в отдельном файле (extra backup) для каждого случая массива помещена табличная информация (см. таблицы далее).

**(4)** Запускается скрипт ***./scripts/make\_outproc.sh,*** который строит графики и сохраняет их в образцах (файлах .gpi) в папке gnuplot.

В конце скрипта написана команда, с помощью которой можно увидеть отображения графика в программе gnuplot (*gnuplot $PATH$NAME".gpi" -persist*).   
Графики строятся следующим образом: по оси х – количество элементов (столбец 8) в массиве, по оси у – среднее замеренное время для данного количества элементов (столбец 2).

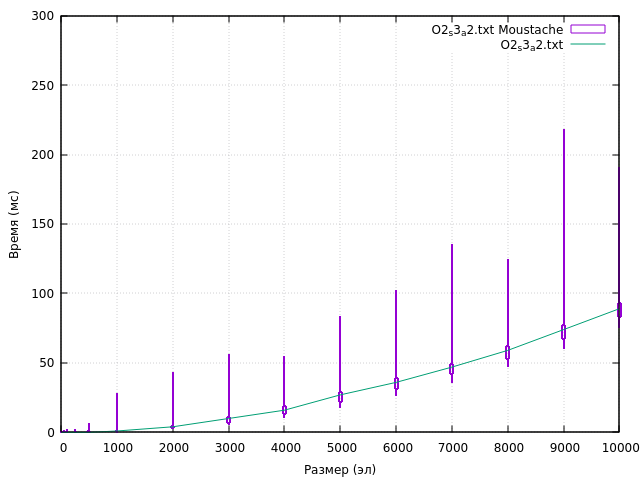
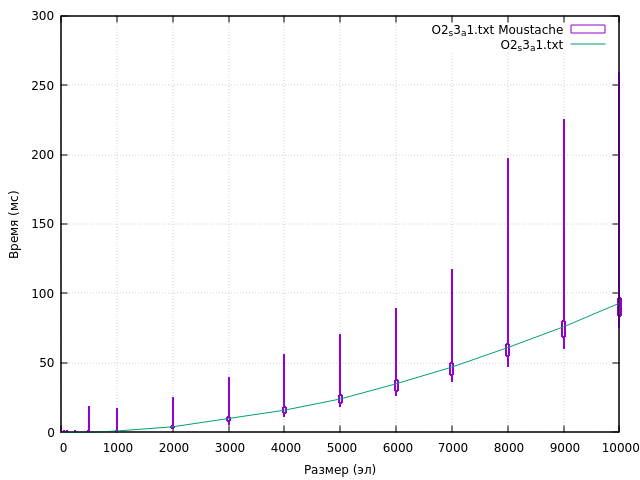
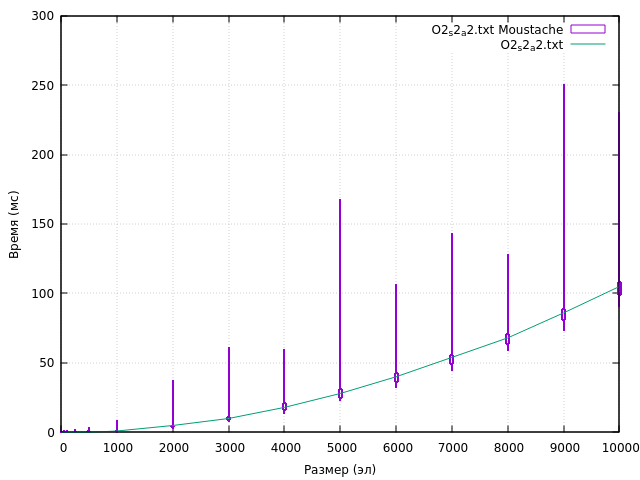
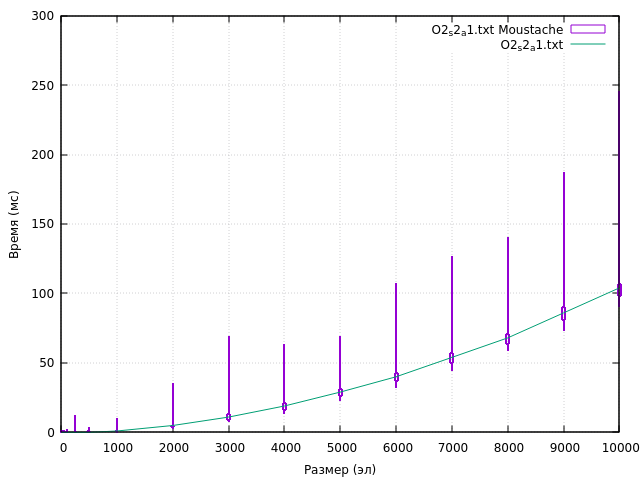
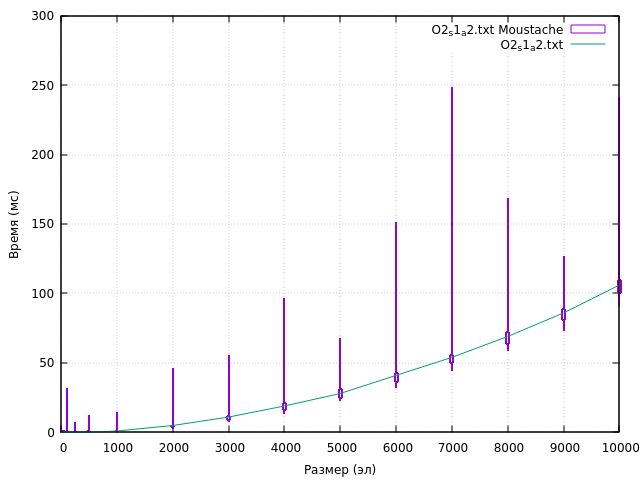
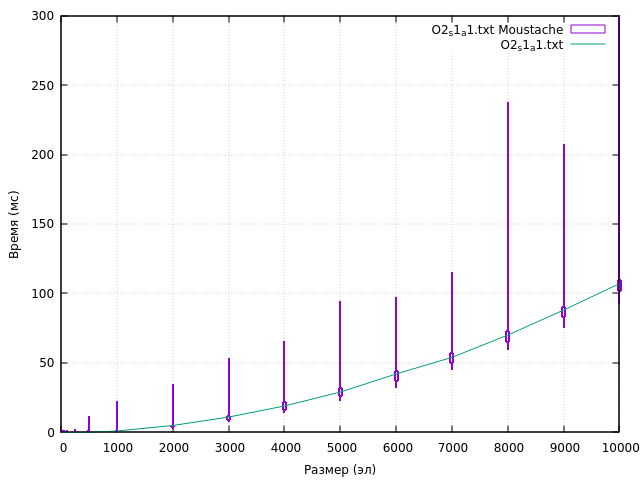
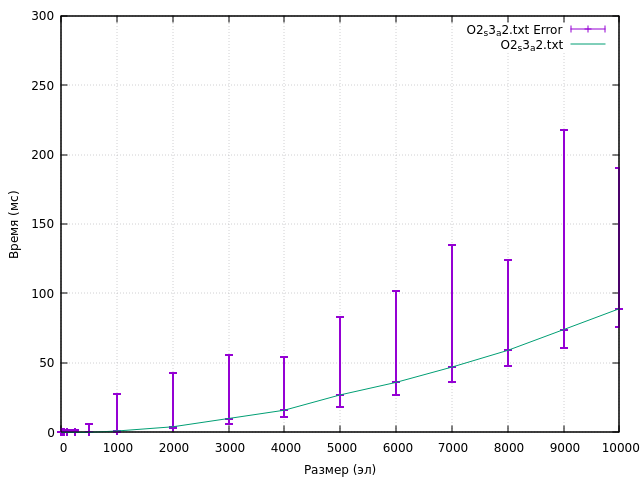
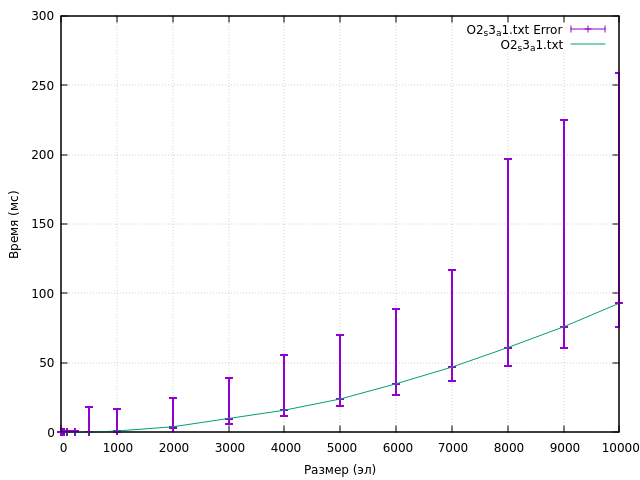
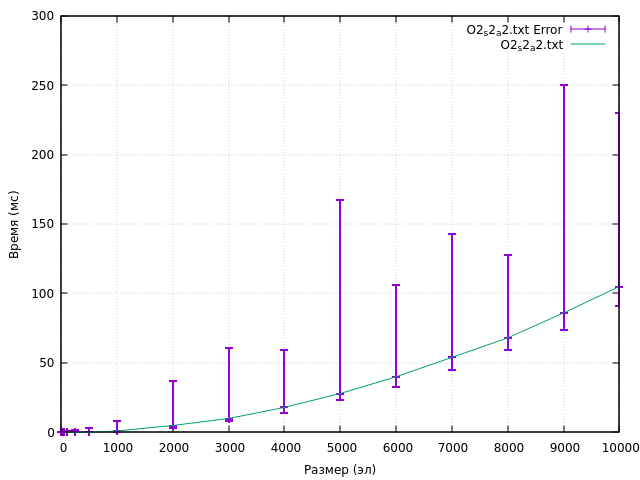
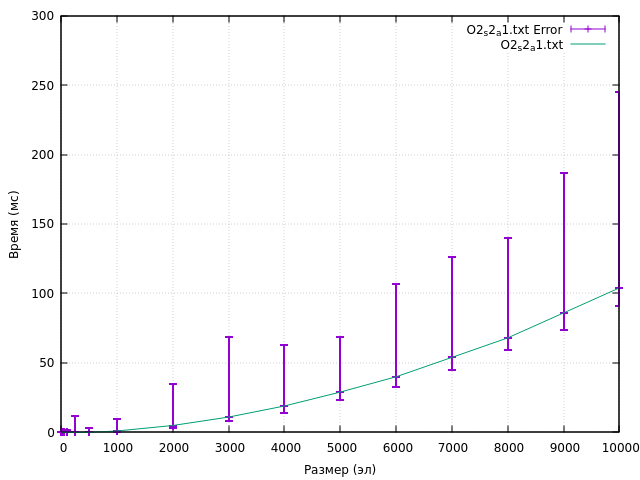
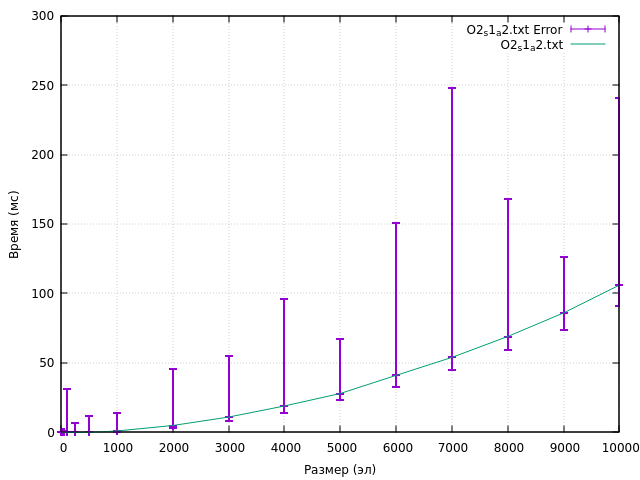
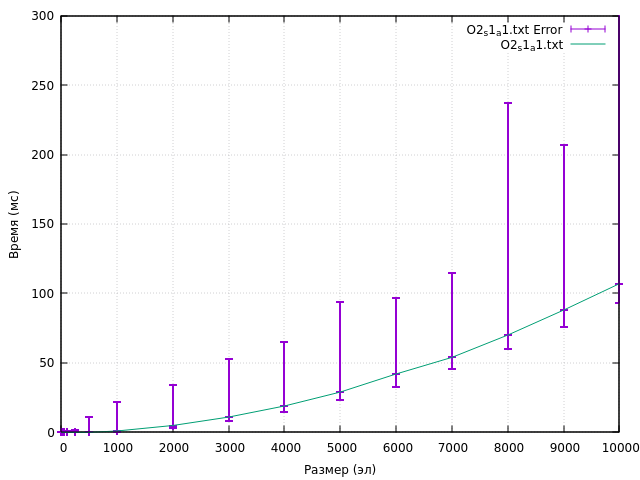
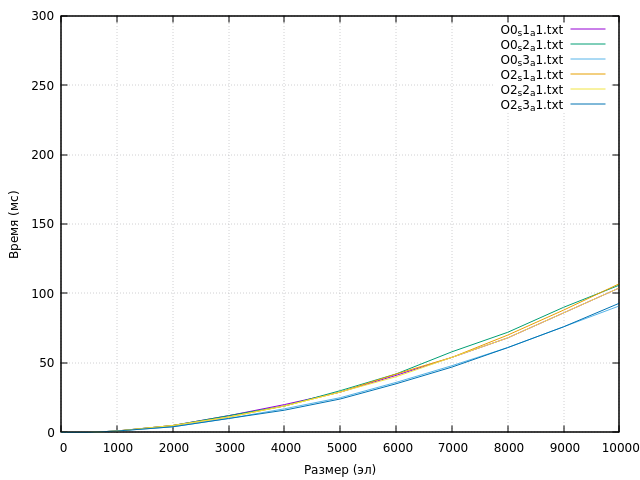
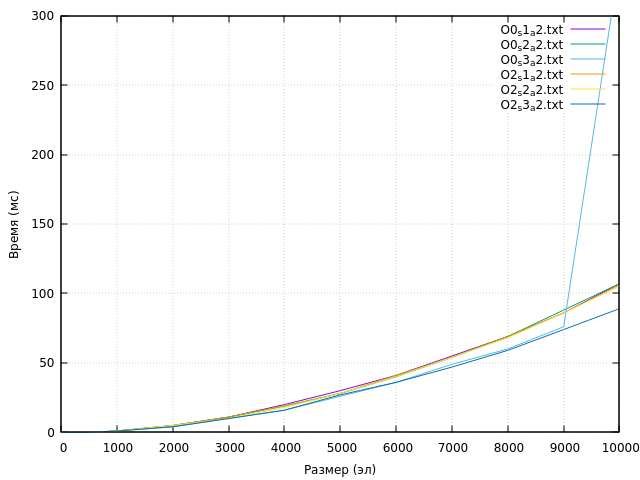
Главные графики:

(Обычный кусочно-линейный график зависимости времени выполнения в любых единицах измерения времени от числа элементов массива для всех 6 вариантов программы, обрабатывающей наилучший случай.)

(Обычный кусочно-линейный график зависимости времени выполнения в любых единицах измерения времени от числа элементов массива для всех 6 вариантов программы, обрабатывающей массив общего вида.)

(Кусочно-линейный график (6 штук) с ошибкой (среднее, максимум, минимум) для всех вариантов обработки массива при уровне оптимизации O2.)

(График с усами (среднее, максимум, минимум; нижний, средний и верхний квартили) для варианта обработки «через квадратные скобки» при уровне оптимизации O2.)



Графики расположены в папке **pics (**из-за ограничения в 1мб в мудле не могу прикрепить графики в векторном формате, только в самом отчете**)**

Как видно из графиков (1) и (2) время сортировки выбором для заранее отсортированного массива и для случайного примерно одинаково, так как сам алгоритм подразумевает нахождение следующего минимума после предыдущего (то есть в отсортированном массиве алгоритм все равно будет искать минимум, так как он изначально не знает (и не может проверить!), что минимум стоит в начале списка).

Из графиков (3) и (4) видно, что чем больше элементов в массиве, тем больше значение ошибки (а значит более нестабильный замер времени, по крайней мере в миллисекундах).

Таблицы (для 1000 измерений):

**O0\_s1\_a1:**

|  |  |
| --- | --- |
| Размер массива (n) | Относительная стандартная ошибка среднего (T) |
| 1000 | 6.356918 |
| 2000 | 1.867374 |
| 3000 | 1.299581 |
| 4000 | 0.996917 |
| 5000 | 0.743025 |
| 6000 | 0.635772 |
| 7000 | 0.440397 |
| 8000 | 0.388772 |
| 9000 | 0.361069 |
| 10000 | - |

**O0\_s1\_a2:**

|  |  |
| --- | --- |
| Размер массива (n) | Относительная стандартная ошибка среднего (T, мс) |
| 1000 | 4.205673 |
| 2000 | 2.247989 |
| 3000 | 1.505566 |
| 4000 | 1.061014 |
| 5000 | 0.890633 |
| 6000 | 0.798520 |
| 7000 | 0.544568 |
| 8000 | 0.521791 |
| 9000 | 0.441052 |
| 10000 | - |

**O0\_s2\_a1:**

|  |  |
| --- | --- |
| Размер массива (n) | Относительная стандартная ошибка среднего (T, мс) |
| 1000 | 4.650982 |
| 2000 | 2.432842 |
| 3000 | 1.260343 |
| 4000 | 1.100790 |
| 5000 | 0.876972 |
| 6000 | 0.912548 |
| 7000 | 0.736206 |
| 8000 | 0.533468 |
| 9000 | 0.654083 |
| 10000 | - |

**O0\_s2\_a2:**

|  |  |
| --- | --- |
| Размер массива (n) | Относительная стандартная ошибка среднего (T, мс) |
| 1000 | 5.102552 |
| 2000 | 1.620811 |
| 3000 | 1.645172 |
| 4000 | 0.956129 |
| 5000 | 0.711474 |
| 6000 | 0.609977 |
| 7000 | 0.564788 |
| 8000 | 0.398500 |
| 9000 | 0.393613 |
| 10000 | - |

**O0\_s3\_a1:**

|  |  |
| --- | --- |
| Размер массива (n) | Относительная стандартная ошибка среднего (T, мс) |
| 1000 | 3.510317 |
| 2000 | 2.690095 |
| 3000 | 1.361306 |
| 4000 | 1.056013 |
| 5000 | 0.865636 |
| 6000 | 0.869591 |
| 7000 | 0.691187 |
| 8000 | 0.574875 |
| 9000 | 0.453260 |
| 10000 | - |

**O0\_s3\_a2:**

|  |  |
| --- | --- |
| Размер массива (n) | Относительная стандартная ошибка среднего (T, мс) |
| 1000 | 3.905798 |
| 2000 | 1.606263 |
| 3000 | 1.529228 |
| 4000 | 1.076646 |
| 5000 | 0.954835 |
| 6000 | 0.710043 |
| 7000 | 0.768957 |
| 8000 | 0.483630 |
| 9000 | 0.417889 |
| 10000 | - |

2)

**O2\_s1\_a1:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Размер массива (n) | Относительная стандартная ошибка среднего (T, мс) |  |
| 1000 | 3.541545 | -1,208432493 |
| 2000 | 1.532563 | -0,427672047 |
| 3000 | 1.288573 | -1,362128606 |
| 4000 | 0.870816 | -1,244803275 |
| 5000 | 0.659618 | -0,178514464 |
| 6000 | 0.638495 | -1,856794022 |
| 7000 | 0.479569 | 1,043341049 |
| 8000 | 0.55126 | -4,137255408 |
| 9000 | 0.33863 | -1,208432493 |
| 10000 | - | - |

**O2\_s1\_a2:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Размер массива (n) | Относительная стандартная ошибка среднего (T, мс) |  |
| 1000 | 2.910063 | -0,458064463 |
| 2000 | 2.118416 | -1,285551901 |
| 3000 | 1.257873 | -0,790553915 |
| 4000 | 1.001996 | -2,732344496 |
| 5000 | 0.544596 | 1,909139293 |
| 6000 | 0.771334 | -0,88550356 |
| 7000 | 0.672916 | -4,180255749 |
| 8000 | 0.385070 | -2,593010326 |
| 9000 | 0.283727 | -0,458064463 |
| 10000 | - | - |

**O2\_s2\_a1:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Размер массива (n) | Относительная стандартная ошибка среднего (T, мс) |  |
| 1000 | 2.428147 | -0,277980759 |
| 2000 | 2.002601 | -0,852556451 |
| 3000 | 1.417316 | -1,565748666 |
| 4000 | 0.903325 | -1,609021703 |
| 5000 | 0.630832 | -0,984115433 |
| 6000 | 0.527218 | -0,913403116 |
| 7000 | 0.457974 | -2,617738442 |
| 8000 | 0.322874 | 2,060114133 |
| 9000 | 0.411541 | -0,277980759 |
| 10000 | - | - |

**O2\_s2\_a2:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Размер массива (n) | Относительная стандартная ошибка среднего (T, мс) |  |
| 1000 | 2.051782 | -0,616901775 |
| 2000 | 1.337905 | -1,150802348 |
| 3000 | 0.839033 | 0,028185809 |
| 4000 | 0.845864 | -1,650433545 |
| 5000 | 0.585271 | -0,826985669 |
| 6000 | 0.503356 | -2,542827553 |
| 7000 | 0.340127 | 1,941470246 |
| 8000 | 0.440789 | 13,05703874 |
| 9000 | 2.051782 | -0,616901775 |
| 10000 | - | - |

**O2\_s3\_a1:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Размер массива (n) | Относительная стандартная ошибка среднего (T, мс) |  |
| 1000 | 2.458871 | -0,854731017 |
| 2000 | 1.359678 | -0,488287936 |
| 3000 | 1.115457 | -0,920868393 |
| 4000 | 0.855856 | -0,787576435 |
| 5000 | 0.717921 | -0,318873176 |
| 6000 | 0.677373 | -0,023928962 |
| 7000 | 0.674879 | -0,523543064 |
| 8000 | 0.629310 | -1,388049767 |
| 9000 | 0.534395 | -0,854731017 |
| 10000 | - | - |

**O2\_s3\_a2:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Размер массива (n) | Относительная стандартная ошибка среднего (T, мс) |  |
| 1000 | 4.010746 | -0,661792094 |
| 2000 | 2.535163 | -1,282694618 |
| 3000 | 1.507074 | -1,587505249 |
| 4000 | 0.954539 | -0,153049306 |
| 5000 | 0.922490 | -0,501037665 |
| 6000 | 0.841955 | -2,067289462 |
| 7000 | 0.612196 | -2,587232649 |
| 8000 | 0.433363 | 1,728430802 |
| 9000 | 0.531209 | -0,661792094 |
| 10000 | - | - |

В нескольких случаях значение rse больше 5%, его можно понизить, проведя больше тестов (>1000).  
Расчет формулы из 3-его столбца производился при помощи excel.

Ответы на вопросы:  
1) Быстрее всех работает \_\_rdtsc(), так как он сразу считает тики процессора и в отличии от clock() – без задержки.

2) Если в ходе эксперимента в датасете обнаружены несколько одинаковых измерений, то их нельзя заменить на одно, потому что в следствии нельзя определить, какое реальное значение должно принимать время. По распределению Гаусса, чем больше проведено измерений, тем больше вероятность того, что измеренное значение ближе к реальному.

3) В ходе эксперимента замеряется только время целевого алгоритма, то есть сортировки, так как инициализация массива так же занимает время у процессора. На разных платформах также разные операции могут занимать разное время.