Паламарчук Андрей ИУ7-23Б

# **Исследование характеристик программного обеспечения**

## **Задание №1**

**Задача :**

Используя функцию nanosleep и каждый из четырёх известных Вам способов замеров времени (gettimeofday, clock\_gettime, clock, \_\_rdtsc), исследовать среднее значение времени выполнения вызовов функции nanosleep для различных задержек(обязательные задержки: 1с, 100мс, 50мс, 10мс).

Для решения данной задачи необходимо реализовать следующие скрипты.

**Обязательные скрипты:**

* build\_apps.sh, вызвав который, можно получить весь набор необходимых исполняемых файлов.
* update\_data.sh, вызвав который, можно добавить некоторые данные в датасет данных исследования.
* make\_preproc.sh, вызвав который, можно подготовить данные из набора, провести первичный анализ: посчитать среднее арифметическое, медианное, найти максимум и минимум, вычислить нижний и верхний квартили, etc.
* go.sh, вызвав который, можно получить данные исследования.

**Дополнительные скрипты:**

* build\_app.sh, вызвав который, можно получить необходимые исполняемые файлы для одной конкретной программы на си.
* update\_specific\_data\_c.sh, вызвав который, можно добавить дополнительные данные в датасет данных исследования для одной конкретной программы на си.

**Таблица результатов исследования**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Время задержки (мс) | Среднее время (мс) | | | |
| nanosleep | gettimeofday | clock\_gettime | clock | \_\_rdtsc |
| 1 | 1 | 1 | 573 | 2 |
| 5 | 5 | 5 | 689 | 10 |
| 10 | 10 | 10 | 751 | 21 |
| 15 | 15 | 15 | 714 | 31 |
| 20 | 20 | 20 | 804 | 42 |
| 30 | 30 | 30 | 750 | 63 |
| 50 | 50 | 50 | 778 | 104 |
| 70 | 70 | 70 | 837 | 146 |
| 100 | 100 | 100 | 852 | 209 |
| 300 | 300 | 300 | 825 | 628 |
| 500 | 500 | 500 | 909 | 1048 |
| 700 | 700 | 700 | 849 | 1467 |
| 800 | 800 | 800 | 814 | 1677 |
| 1000 | 1000 | 1000 | 792 | 2096 |

## **Задание №2**

**Задача :**

Проведите сравнение производительности работы программы по трём плоскостям:

1. Разные способы работы с элементами одномерного массива:

* использование операции индексации a[i];
* формальная замена операции индексации на выражение \*(a + i);
* использование указателей для работы с массивом.

1. Разные уровни оптимизации:

* O0;
* O2.

1. Разные исходные массивы:

* наилучший случай (все элементы изначально отсортированы);
* элементы расположены в случайном порядке.

Для решения данной задачи необходимо реализовать следующие скрипты.

**Обязательные скрипты:**

* build\_apps.sh, вызвав который, можно получить весь набор необходимых исполняемых файлов.
* update\_data.sh, вызвав который, можно добавить некоторые данные в датасет данных исследования.
* make\_preproc.sh, вызвав который, можно подготовить данные из набора, провести первичный анализ: посчитать среднее арифметическое, медианное, найти максимум и минимум, вычислить нижний и верхний квартили, etc.
* make\_postproc.gpi, вызвав который, можно получить указанные ниже графики.
* go.sh, вызвав который, можно получить данные исследования.

**Дополнительные скрипты:**

* build\_app.sh, вызвав который, можно получить необходимые исполняемые файлы для одной конкретной программы на си.
* generate\_sort.sh, вызвав который, можно получить текстовый файл, в котором содержится отсортированная по возрастанию последовательность чисел. Необходимое количество элементов последовательности задается пользователем.
* generate\_unsort.sh, вызвав который, можно получить текстовый файл, в котором содержится неотсортированная последовательность чисел. Необходимое количество элементов последовательности задается пользователем.
* update\_specific\_data\_c.sh, вызвав который, можно добавить дополнительные данные в датасет данных исследования для одной конкретной программы на си.
* update\_specific\_data\_exe.sh, вызвав который, можно добавить дополнительные данные в датасет данных исследования для одного конкретного исполняемого файла.

**Таблицы для наилучшего случая:**

­­Для сортировки с индексами, оптимизация O0

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина массива n | Время выполнения 𝑡 (мкс) | Величина относительной стандартной ошибки среднего | Минимальное время (мкс) | Максимальное время (мкс) |
| 1 | 0 | 0,0094 | 0 | 1 |
| 500 | 1 | 0,0170 | 1 | 5 |
| 1000 | 3 | 0,0526 | 2 | 47 |
| 1500 | 5 | 0,0673 | 3 | 56 |
| 2000 | 6 | 0,0503 | 5 | 45 |
| 2 500 | 8 | 0,1702 | 6 | 164 |
| 3 000 | 10 | 0,0608 | 7 | 37 |
| 3 500 | 12 | 0,0707 | 8 | 33 |
| 4 000 | 14 | 0,2221 | 10 | 193 |
| 4 500 | 15 | 0,1763 | 12 | 171 |
| 5 000 | 17 | 0,0970 | 12 | 44 |
| 5 500 | 20 | 1,0723 | 13 | 989 |
| 6 000 | 20 | 0,1630 | 15 | 90 |
| 6500 | 22 | 0,6711 | 15 | 677 |
| 7000 | 24 | 0,1210 | 18 | 62 |
| 7500 | 24 | 0,1451 | 18 | 59 |
| 8000 | 26 | 0,1260 | 20 | 56 |
| 8500 | 30 | 0,2873 | 22 | 223 |
| 9000 | 32 | 0,1991 | 24 | 84 |
| 9500 | 37 | 3,4983 | 25 | 3527 |
| 10000 | 37 | 0,7037 | 26 | 663 |
| 11000 | 39 | 0,5668 | 26 | 568 |
| 12000 | 43 | 0,2418 | 31 | 150 |
| 13000 | 45 | 0,2239 | 33 | 128 |
| 14000 | 49 | 0,2467 | 33 | 156 |
| 15000 | 52 | 0,2537 | 35 | 117 |
| 16000 | 55 | 0,2489 | 37 | 109 |
| 17000 | 59 | 0,3612 | 40 | 217 |
| 18000 | 60 | 0,3097 | 42 | 135 |
| 19000 | 59 | 0,3097 | 44 | 207 |
| 20000 | 57 | 0,2692 | 47 | 138 |

­­Для сортировки с индексами, оптимизация O2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина массива n | Время выполнения 𝑡 (мкс) | Величина относительной стандартной ошибки среднего | Минимальное время (мкс) | Максимальное время (мкс) |
| 1 | 0 | 0,0090 | 0 | 1 |
| 500 | 0 | 0,0150 | 0 | 3 |
| 1000 | 1 | 0,0203 | 0 | 11 |
| 1500 | 2 | 0,0311 | 1 | 16 |
| 2000 | 2 | 0,0360 | 1 | 14 |
| 2 500 | 4 | 0,5322 | 2 | 529 |
| 3 000 | 4 | 0,4738 | 2 | 476 |
| 3 500 | 5 | 0,1900 | 3 | 182 |
| 4 000 | 6 | 0,5128 | 3 | 515 |
| 4 500 | 6 | 0,0673 | 3 | 16 |
| 5 000 | 7 | 0,1021 | 4 | 76 |
| 5 500 | 8 | 0,0846 | 4 | 23 |
| 6 000 | 8 | 0,0906 | 5 | 32 |
| 6500 | 9 | 0,1004 | 5 | 38 |
| 7000 | 9 | 0,1087 | 5 | 30 |
| 7500 | 10 | 0,1516 | 5 | 107 |
| 8000 | 11 | 0,1390 | 6 | 61 |
| 8500 | 12 | 0,2004 | 7 | 157 |
| 9000 | 14 | 0,3941 | 7 | 375 |
| 9500 | 14 | 0,1544 | 7 | 41 |
| 10000 | 15 | 0,1606 | 7 | 51 |
| 11000 | 16 | 0,1906 | 8 | 86 |
| 12000 | 18 | 0,2072 | 9 | 89 |
| 13000 | 19 | 0,3102 | 9 | 207 |
| 14000 | 20 | 0,2260 | 10 | 86 |
| 15000 | 21 | 0,2657 | 11 | 153 |
| 16000 | 22 | 0,2380 | 12 | 43 |
| 17000 | 25 | 0,2582 | 12 | 94 |
| 18000 | 24 | 0,3024 | 13 | 171 |
| 19000 | 23 | 0,2449 | 14 | 68 |
| 20000 | 24 | 0,2474 | 14 | 58 |

­­

Для сортировки с выражениями, оптимизация O0

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина массива n | Время выполнения 𝑡 (мкс) | Величина относительной стандартной ошибки среднего | Минимальное время (мкс) | Максимальное время (мкс) |
| 1 | 0 | 0,0094 | 0 | 1 |
| 500 | 1 | 0,0208 | 1 | 11 |
| 1000 | 3 | 0,0244 | 2 | 14 |
| 1500 | 5 | 0,0322 | 3 | 15 |
| 2000 | 6 | 0,0768 | 5 | 59 |
| 2 500 | 8 | 0,0587 | 6 | 47 |
| 3 000 | 10 | 0,2637 | 7 | 209 |
| 3 500 | 12 | 0,6305 | 9 | 31 |
| 4 000 | 14 | 0,6305 | 10 | 624 |
| 4 500 | 15 | 0,1140 | 12 | 96 |
| 5 000 | 17 | 0,6021 | 13 | 117 |
| 5 500 | 19 | 0,6021 | 14 | 612 |
| 6 000 | 20 | 0,5191 | 14 | 523 |
| 6500 | 22 | 0,1187 | 17 | 57 |
| 7000 | 23 | 0,1393 | 18 | 65 |
| 7500 | 25 | 0,4950 | 19 | 484 |
| 8000 | 26 | 0,1501 | 20 | 64 |
| 8500 | 29 | 0,1739 | 21 | 71 |
| 9000 | 33 | 0,2725 | 24 | 158 |
| 9500 | 34 | 0,2123 | 26 | 133 |
| 10000 | 36 | 0,1922 | 26 | 90 |
| 11000 | 39 | 0,1896 | 29 | 101 |
| 12000 | 44 | 0,7422 | 31 | 748 |
| 13000 | 47 | 0,6227 | 34 | 586 |
| 14000 | 49 | 0,2812 | 37 | 214 |
| 15000 | 52 | 0,2498 | 35 | 136 |
| 16000 | 57 | 1,8520 | 43 | 1871 |
| 17000 | 59 | 0,2575 | 44 | 123 |
| 18000 | 63 | 0,3592 | 42 | 250 |
| 19000 | 61 | 0,2870 | 44 | 156 |
| 20000 | 59 | 0,2366 | 47 | 97 |

Для сортировки с выражениями, оптимизация O2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина массива n | Время выполнения 𝑡 (мкс) | Величина относительной стандартной ошибки среднего. | Минимальное время (мкс) | Максимальное время (мкс) |
| 1 | 0 | 0,0080 | 0 | 1 |
| 500 | 0 | 0,0181 | 0 | 12 |
| 1000 | 1 | 0,0212 | 0 | 14 |
| 1500 | 2 | 0,0332 | 1 | 18 |
| 2000 | 3 | 0,1028 | 1 | 98 |
| 2 500 | 3 | 0,0823 | 2 | 76 |
| 3 000 | 4 | 0,0456 | 2 | 12 |
| 3 500 | 5 | 0,0882 | 3 | 70 |
| 4 000 | 5 | 0,0603 | 3 | 16 |
| 4 500 | 6 | 0,0898 | 3 | 63 |
| 5 000 | 7 | 0,0952 | 4 | 67 |
| 5 500 | 8 | 0,1929 | 4 | 161 |
| 6 000 | 8 | 0,1152 | 5 | 77 |
| 6500 | 9 | 0,1032 | 5 | 52 |
| 7000 | 10 | 0,0707 | 5 | 1028 |
| 7500 | 12 | 1,9899 | 5 | 1995 |
| 8000 | 11 | 0,4232 | 6 | 403 |
| 8500 | 12 | 0,1614 | 6 | 87 |
| 9000 | 14 | 0,1389 | 6 | 42 |
| 9500 | 14 | 0,1503 | 7 | 40 |
| 10000 | 15 | 0,1575 | 7 | 44 |
| 11000 | 17 | 0,2417 | 8 | 129 |
| 12000 | 24 | 6,9507 | 9 | 6966 |
| 13000 | 21 | 1,3039 | 9 | 1303 |
| 14000 | 20 | 0,2163 | 10 | 47 |
| 15000 | 21 | 0,2297 | 11 | 63 |
| 16000 | 23 | 0,2588 | 12 | 84 |
| 17000 | 24 | 0,2565 | 12 | 67 |
| 18000 | 24 | 0,2784 | 13 | 101 |
| 19000 | 24 | 0,2482 | 14 | 55 |
| 20000 | 25 | 0,4106 | 14 | 319 |

Для сортировки с указателями, оптимизация O0

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина массива n | Время выполнения 𝑡 (мкс) | Величина относительной стандартной ошибки среднего | Минимальное время (мкс) | Максимальное время (мкс) |
| 1 | 0 | 0,0100 | 0 | 1 |
| 500 | 1 | 0,0381 | 1 | 36 |
| 1000 | 2 | 0,0270 | 2 | 14 |
| 1500 | 5 | 1,0251 | 3 | 1029 |
| 2000 | 5 | 0,0313 | 4 | 14 |
| 2 500 | 7 | 0,2625 | 5 | 265 |
| 3 000 | 8 | 0,1062 | 6 | 78 |
| 3 500 | 10 | 0,0858 | 7 | 60 |
| 4 000 | 11 | 0,0617 | 8 | 28 |
| 4 500 | 12 | 0,0928 | 10 | 78 |
| 5 000 | 14 | 0,0959 | 10 | 77 |
| 5 500 | 15 | 0,0832 | 12 | 50 |
| 6 000 | 17 | 0,1003 | 13 | 54 |
| 6500 | 18 | 0,1116 | 14 | 49 |
| 7000 | 19 | 0,1169 | 15 | 53 |
| 7500 | 20 | 0,1135 | 15 | 56 |
| 8000 | 22 | 0,1381 | 17 | 74 |
| 8500 | 25 | 0,1726 | 19 | 127 |
| 9000 | 26 | 0,1488 | 20 | 73 |
| 9500 | 28 | 0,1542 | 20 | 69 |
| 10000 | 29 | 0,1823 | 22 | 122 |
| 11000 | 32 | 0,1827 | 22 | 108 |
| 12000 | 38 | 3,6354 | 23 | 3648 |
| 13000 | 38 | 0,2059 | 29 | 120 |
| 14000 | 40 | 0,1826 | 28 | 92 |
| 15000 | 49 | 5,1284 | 29 | 5166 |
| 16000 | 47 | 0,2292 | 31 | 124 |
| 17000 | 48 | 0,4613 | 33 | 443 |
| 18000 | 49 | 0,2467 | 35 | 157 |
| 19000 | 47 | 0,2220 | 37 | 113 |
| 20000 | 48 | 0,2051 | 39 | 125 |

Для сортировки с указателями, оптимизация O2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина массива n | Время выполнения 𝑡 (мкс) | Величина относительной стандартной ошибки среднего | Минимальное время (мкс) | Максимальное время (мкс) |
| 1 | 0 | 0,0087 | 0 | 1 |
| 500 | 0 | 0,0141 | 0 | 2 |
| 1000 | 1 | 0,0204 | 0 | 12 |
| 1500 | 2 | 0,0298 | 1 | 16 |
| 2000 | 3 | 0,6588 | 1 | 661 |
| 2 500 | 3 | 0,0705 | 2 | 55 |
| 3 000 | 4 | 0,0804 | 2 | 63 |
| 3 500 | 5 | 0,0822 | 3 | 59 |
| 4 000 | 5 | 0,0753 | 3 | 80 |
| 4 500 | 6 | 0,0960 | 3 | 35 |
| 5 000 | 7 | 0,0777 | 4 | 24 |
| 5 500 | 8 | 0,0835 | 4 | 31 |
| 6 000 | 8 | 0,0909 | 5 | 26 |
| 6500 | 9 | 0,1082 | 5 | 59 |
| 7000 | 9 | 0,1031 | 5 | 29 |
| 7500 | 10 | 0,1123 | 6 | 47 |
| 8000 | 11 | 0,1227 | 6 | 34 |
| 8500 | 12 | 0,1426 | 7 | 58 |
| 9000 | 13 | 0,1791 | 7 | 119 |
| 9500 | 13 | 0,1488 | 7 | 38 |
| 10000 | 15 | 0,1911 | 7 | 100 |
| 11000 | 17 | 0,1738 | 8 | 57 |
| 12000 | 18 | 0,2099 | 9 | 58 |
| 13000 | 19 | 0,1938 | 9 | 91 |
| 14000 | 20 | 0,2131 | 10 | 61 |
| 15000 | 22 | 0,5443 | 11 | 517 |
| 16000 | 24 | 0,6048 | 11 | 422 |
| 17000 | 25 | 0,2552 | 12 | 74 |
| 18000 | 23 | 0,2461 | 13 | 48 |
| 19000 | 23 | 0,2490 | 14 | 99 |
| 20000 | 24 | 0,7918 | 14 | 777 |

**График обработки наилучшего случая**



­­

**Таблицы для общего случая:**

Для сортировки с индексами, оптимизация O0

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина массива n | Время выполнения  𝑡 (мкс) | Величина относительной стандартной ошибки среднего | Минимальное время (мкс) | Максимальное время (мкс) |
| 1 | 0 | 0,0097 | 0 | 1 |
| 500 | 164 | 3,0296 | 119 | 2909 |
| 1000 | 672 | 4,4071 | 495 | 2799 |
| 1500 | 1586 | 8,3454 | 1176 | 4380 |
| 2000 | 2652 | 10,0146 | 2070 | 4999 |
| 2 500 | 4340 | 15,5539 | 3287 | 6603 |
| 3 000 | 6466 | 21,0320 | 4778 | 13126 |
| 3 500 | 8488 | 26,2558 | 6410 | 12132 |
| 4 000 | 11337 | 31,4374 | 8598 | 14902 |
| 4 500 | 14367 | 42,0915 | 10625 | 22524 |
| 5 000 | 17841 | 44,8960 | 12834 | 26279 |
| 5 500 | 21077 | 57,6121 | 16547 | 27657 |
| 6 000 | 23595 | 55,8164 | 18966 | 32951 |
| 6500 | 28160 | 64,2125 | 22715 | 37671 |
| 7000 | 32317 | 68,8059 | 26418 | 42684 |
| 7500 | 35750 | 68,9295 | 29792 | 45047 |
| 8000 | 39498 | 65,5062 | 34887 | 49797 |
| 8500 | 43041 | 69,1447 | 37750 | 56009 |
| 9000 | 47233 | 66,1037 | 41649 | 55846 |
| 9500 | 52026 | 81,5265 | 46364 | 67154 |
| 10000 | 56885 | 83,1104 | 50907 | 72658 |
| 11000 | 67481 | 105,9312 | 59603 | 89587 |
| 12000 | 77588 | 109,0512 | 70509 | 99214 |
| 13000 | 89498 | 118,0596 | 82000 | 123182 |
| 14000 | 103254 | 139,2012 | 95458 | 131967 |
| 15000 | 116593 | 152,2047 | 108993 | 146422 |
| 16000 | 131589 | 145,4694 | 122825 | 167040 |
| 17000 | 146232 | 178,0790 | 138148 | 189939 |
| 18000 | 163941 | 224,2253 | 154658 | 209779 |
| 19000 | 180058 | 220,5157 | 170025 | 231819 |
| 20000 | 200245 | 276,1478 | 189590 | 259060 |

Для сортировки с индексами, оптимизация O2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина массива n | Время выполнения 𝑡 (мкс) | Величина относительной стандартной ошибки среднего | Минимальное время (мкс) | Максимальное время (мкс) |
| 1 | 0 | 0,0089 | 0 | 1 |
| 500 | 76 | 1,9475 | 50 | 1886 |
| 1000 | 306 | 5,2314 | 205 | 4656 |
| 1500 | 690 | 6,1410 | 464 | 3136 |
| 2000 | 1170 | 9,3218 | 770 | 5776 |
| 2 500 | 1916 | 11,2100 | 1265 | 5015 |
| 3 000 | 2755 | 17,9649 | 1878 | 12636 |
| 3 500 | 3561 | 18,1453 | 2507 | 6564 |
| 4 000 | 4897 | 22,3842 | 3326 | 11877 |
| 4 500 | 5834 | 27,1749 | 4262 | 9154 |
| 5 000 | 7652 | 30,1254 | 5240 | 12541 |
| 5 500 | 9326 | 33,0855 | 6385 | 12971 |
| 6 000 | 11008 | 34,6069 | 7525 | 14000 |
| 6500 | 13111 | 40,6016 | 8697 | 18190 |
| 7000 | 14885 | 50,9691 | 10110 | 19278 |
| 7500 | 16181 | 63,1624 | 11487 | 28356 |
| 8000 | 19201 | 57,8832 | 13326 | 26839 |
| 8500 | 20186 | 55,6043 | 15620 | 25036 |
| 9000 | 22655 | 54,7397 | 18226 | 29254 |
| 9500 | 25129 | 51,3354 | 19261 | 33995 |
| 10000 | 27968 | 52,6284 | 22374 | 36422 |
| 11000 | 32623 | 72,9518 | 24613 | 42094 |
| 12000 | 36687 | 71,3389 | 30600 | 44229 |
| 13000 | 41190 | 60,4214 | 36973 | 52874 |
| 14000 | 46243 | 51,9256 | 42335 | 59689 |
| 15000 | 51265 | 54,0643 | 47385 | 68395 |
| 16000 | 56270 | 69,4363 | 52194 | 80367 |
| 17000 | 62240 | 67,8244 | 57928 | 88429 |
| 18000 | 67786 | 63,4774 | 64363 | 91808 |
| 19000 | 74905 | 59,7477 | 70907 | 86695 |
| 20000 | 81325 | 60,5163 | 78424 | 99713 |

Для сортировки с выражениями, оптимизация O0

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина массива n | Время выполнения 𝑡 (мкс) | Величина относительной стандартной ошибки среднего | Минимальное время (мкс) | Максимальное время (мкс) |
| 1 | 0 | 0,0089 | 0 | 1 |
| 500 | 167 | 4,1012 | 122 | 3099 |
| 1000 | 665 | 4,4528 | 490 | 3055 |
| 1500 | 1563 | 7,4440 | 1185 | 4148 |
| 2000 | 2663 | 14,0247 | 1946 | 11939 |
| 2 500 | 4350 | 15,8226 | 3343 | 6850 |
| 3 000 | 6230 | 21,1786 | 4704 | 9028 |
| 3 500 | 8748 | 25,0663 | 6339 | 13273 |
| 4 000 | 10961 | 33,1591 | 8515 | 15299 |
| 4 500 | 14247 | 41,9699 | 10858 | 19107 |
| 5 000 | 18172 | 43,5300 | 13750 | 23305 |
| 5 500 | 20907 | 57,1605 | 16363 | 28404 |
| 6 000 | 23682 | 56,7838 | 19224 | 32154 |
| 6500 | 28224 | 63,8183 | 22975 | 36263 |
| 7000 | 32323 | 70,0082 | 26195 | 39988 |
| 7500 | 35790 | 72,7273 | 29492 | 46794 |
| 8000 | 39636 | 70,4200 | 33960 | 52537 |
| 8500 | 43255 | 64,6889 | 38203 | 53998 |
| 9000 | 47296 | 69,3940 | 42213 | 61811 |
| 9500 | 52194 | 79,3957 | 46218 | 70143 |
| 10000 | 56519 | 92,6711 | 50516 | 75940 |
| 11000 | 66583 | 104,7103 | 59728 | 88606 |
| 12000 | 77984 | 106,9224 | 70657 | 103158 |
| 13000 | 89415 | 145,5350 | 81901 | 120968 |
| 14000 | 103747 | 144,3362 | 95739 | 136964 |
| 15000 | 117467 | 172,0686 | 108824 | 153137 |
| 16000 | 130663 | 188,4603 | 122444 | 175159 |
| 17000 | 146424 | 181,2660 | 138368 | 186919 |
| 18000 | 163016 | 219,5894 | 154483 | 210109 |
| 19000 | 179703 | 233,7838 | 170521 | 233281 |
| 20000 | 200737 | 269,2831 | 189520 | 279169 |

Для сортировки с выражениями, оптимизация O2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина массива n | Время выполнения 𝑡 (мкс) | Величина относительной стандартной ошибки среднего | Минимальное время (мкс) | Максимальное время (мкс) |
| 1 | 0 | 0,0092 | 0 | 1 |
| 500 | 71 | 0,9038 | 51 | 771 |
| 1000 | 295 | 2,4226 | 195 | 1385 |
| 1500 | 687 | 6,7994 | 449 | 5505 |
| 2000 | 1165 | 9,2449 | 785 | 4301 |
| 2 500 | 1884 | 10,2262 | 1339 | 3968 |
| 3 000 | 2695 | 13,9757 | 1880 | 7466 |
| 3 500 | 3643 | 17,3167 | 2590 | 6088 |
| 4 000 | 4805 | 23,5586 | 3227 | 12726 |
| 4 500 | 6092 | 31,3158 | 4142 | 13533 |
| 5 000 | 7625 | 28,2976 | 5199 | 10926 |
| 5 500 | 9123 | 35,9137 | 6291 | 15789 |
| 6 000 | 10950 | 37,8211 | 7604 | 15211 |
| 6500 | 12810 | 45,3441 | 8941 | 17732 |
| 7000 | 15000 | 49,4369 | 10336 | 19887 |
| 7500 | 16753 | 58,1301 | 11159 | 22577 |
| 8000 | 19093 | 59,4177 | 13401 | 27191 |
| 8500 | 19687 | 57,4396 | 15529 | 29396 |
| 9000 | 22688 | 54,3367 | 18623 | 29902 |
| 9500 | 25086 | 50,4315 | 20095 | 32203 |
| 10000 | 27875 | 49,8034 | 22190 | 39591 |
| 11000 | 32659 | 75,5038 | 23612 | 45313 |
| 12000 | 36765 | 70,2692 | 30035 | 48474 |
| 13000 | 41203 | 60,4257 | 34596 | 55657 |
| 14000 | 46184 | 58,6180 | 42390 | 62760 |
| 15000 | 51350 | 58,2998 | 47583 | 71250 |
| 16000 | 56370 | 60,9290 | 52078 | 74315 |
| 17000 | 62031 | 68,7945 | 58358 | 86913 |
| 18000 | 68048 | 64,0128 | 64388 | 99991 |
| 19000 | 74514 | 59,6829 | 67029 | 88034 |
| 20000 | 82534 | 60,4974 | 79133 | 100062 |

Для сортировки с указателями, оптимизация O0

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина массива n | Время выполнения 𝑡 (мкс) | Величина относительной стандартной ошибки среднего | Минимальное время (мкс) | Максимальное время (мкс) |
| 1 | 0 | 0,0097 | 0 | 1 |
| 500 | 119 | 3,0296 | 96 | 1005 |
| 1000 | 482 | 4,4071 | 392 | 2461 |
| 1500 | 1119 | 8,3454 | 917 | 4759 |
| 2000 | 1914 | 10,0146 | 1404 | 7868 |
| 2 500 | 3153 | 15,5539 | 2453 | 15454 |
| 3 000 | 4341 | 21,0320 | 3513 | 6998 |
| 3 500 | 5921 | 26,2558 | 4613 | 9107 |
| 4 000 | 7799 | 31,4374 | 6258 | 10907 |
| 4 500 | 10178 | 42,0915 | 8448 | 14791 |
| 5 000 | 12308 | 44,8960 | 10027 | 16197 |
| 5 500 | 14671 | 57,6121 | 11909 | 20976 |
| 6 000 | 17468 | 55,8164 | 14446 | 23896 |
| 6500 | 20650 | 64,2125 | 16955 | 28505 |
| 7000 | 22876 | 68,8059 | 19071 | 30226 |
| 7500 | 26048 | 68,9295 | 22112 | 34708 |
| 8000 | 29499 | 65,5062 | 25713 | 42140 |
| 8500 | 33309 | 69,1447 | 27488 | 47966 |
| 9000 | 36268 | 66,1037 | 31498 | 52998 |
| 9500 | 39556 | 81,5265 | 35038 | 53909 |
| 10000 | 42828 | 83,1104 | 38708 | 56436 |
| 11000 | 50249 | 105,9312 | 45547 | 69246 |
| 12000 | 57953 | 118,0596 | 53267 | 85046 |
| 13000 | 66651 | 139,2012 | 62303 | 100501 |
| 14000 | 77527 | 152,2047 | 72583 | 113448 |
| 15000 | 87908 | 145,4694 | 82803 | 130030 |
| 16000 | 98765 | 165,6467 | 93493 | 146925 |
| 17000 | 111281 | 178,0790 | 105314 | 166915 |
| 18000 | 124172 | 224,2253 | 117964 | 190217 |
| 19000 | 136810 | 220,5157 | 130172 | 209700 |
| 20000 | 152821 | 276,1478 | 144934 | 231602 |

Для сортировки с указателями, оптимизация O2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина массива n | Время выполнения 𝑡 (мкс) | Величина относительной стандартной ошибки среднего | Минимальное время (мкс) | Максимальное время (мкс) |
| 1 | 0 | 0,0094 | 0 | 1 |
| 500 | 32 | 0,3536 | 19 | 127 |
| 1000 | 159 | 2,4436 | 72 | 2144 |
| 1500 | 284 | 2,9336 | 165 | 1037 |
| 2000 | 488 | 8,0691 | 281 | 6828 |
| 2 500 | 930 | 9,7781 | 472 | 7030 |
| 3 000 | 1235 | 9,2789 | 658 | 3690 |
| 3 500 | 1678 | 10,4032 | 895 | 6789 |
| 4 000 | 2052 | 14,9197 | 1126 | 5462 |
| 4 500 | 2688 | 17,2024 | 1420 | 5928 |
| 5 000 | 3145 | 20,1694 | 1811 | 7001 |
| 5 500 | 3833 | 24,9800 | 2155 | 8287 |
| 6 000 | 4309 | 29,7007 | 2550 | 7417 |
| 6500 | 5112 | 34,6046 | 2892 | 9064 |
| 7000 | 5973 | 37,8472 | 3461 | 9609 |
| 7500 | 6860 | 41,4386 | 3893 | 11632 |
| 8000 | 7760 | 46,8590 | 4516 | 12665 |
| 8500 | 9049 | 50,0734 | 5313 | 15386 |
| 9000 | 9651 | 57,0888 | 5869 | 15088 |
| 9500 | 11390 | 59,2065 | 6607 | 23527 |
| 10000 | 12392 | 67,5191 | 7136 | 18158 |
| 11000 | 16046 | 62,4809 | 9629 | 25116 |
| 12000 | 18779 | 73,6387 | 11862 | 25546 |
| 13000 | 19632 | 81,5561 | 14066 | 27167 |
| 14000 | 23458 | 67,1960 | 17316 | 34510 |
| 15000 | 26977 | 73,6613 | 18173 | 36931 |
| 16000 | 30455 | 53,8129 | 24080 | 40756 |
| 17000 | 32381 | 84,5815 | 24297 | 45592 |
| 18000 | 34196 | 77,9766 | 27763 | 51601 |
| 19000 | 36594 | 70,3707 | 29951 | 49589 |
| 20000 | 40648 | 62,6859 | 34336 | 50579 |

**График обработки общего случая**

****

**График с ошибкой**

**­­­­­**

**Таблицы для графика с усами:**

Для сортировки с индексами (наилучший случай), оптимизация O2

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина массива n | Время выполнения 𝑡 (мкс) | Минимальное время (мкс) | Максимальное время (мкс) | Нижний квартиль (мкс) | Средний квартиль (мкс) | Верхний квартиль (мкс) |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 500 | 0 | 0 | 3 | 0 | 1 | 1 |
| 1000 | 1 | 0 | 11 | 1 | 1 | 2 |
| 1500 | 2 | 1 | 16 | 2 | 2 | 3 |
| 2000 | 2 | 1 | 14 | 2 | 3 | 4 |
| 2500 | 4 | 2 | 529 | 2 | 4 | 5 |
| 3000 | 4 | 2 | 476 | 3 | 5 | 6 |
| 3500 | 5 | 3 | 182 | 3 | 6 | 7 |
| 4000 | 6 | 3 | 515 | 4 | 7 | 7 |
| 4500 | 6 | 3 | 16 | 4 | 7 | 8 |
| 5000 | 7 | 4 | 76 | 5 | 8 | 9 |
| 5500 | 8 | 4 | 23 | 5 | 9 | 10 |
| 6000 | 8 | 5 | 32 | 6 | 8 | 11 |
| 6500 | 9 | 5 | 38 | 6 | 11 | 12 |
| 7000 | 9 | 5 | 30 | 7 | 11 | 13 |
| 7500 | 10 | 5 | 107 | 7 | 11 | 13 |
| 8000 | 11 | 6 | 61 | 8 | 13 | 15 |
| 8500 | 12 | 7 | 157 | 8 | 15 | 17 |
| 9000 | 14 | 7 | 375 | 9 | 16 | 18 |
| 9500 | 14 | 7 | 41 | 9 | 16 | 19 |
| 10000 | 15 | 7 | 51 | 10 | 17 | 20 |
| 11000 | 16 | 8 | 86 | 11 | 18 | 21 |
| 12000 | 18 | 9 | 89 | 12 | 21 | 23 |
| 13000 | 19 | 9 | 207 | 13 | 22 | 25 |
| 14000 | 20 | 10 | 86 | 14 | 22 | 27 |
| 15000 | 21 | 11 | 153 | 15 | 23 | 29 |
| 16000 | 22 | 12 | 43 | 15 | 24 | 30 |
| 17000 | 25 | 12 | 94 | 17 | 28 | 32 |
| 18000 | 24 | 13 | 171 | 16 | 26 | 32 |
| 19000 | 23 | 14 | 68 | 16 | 23 | 31 |
| 20000 | 24 | 14 | 58 | 16 | 29 | 31 |

Для сортировки с индексами (общий случай), оптимизация O2

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина массива n | Время выполнения 𝑡 (мкс) | Минимальное время (мкс) | Максимальное время (мкс) | Нижний квартиль (мкс) | Средний квартиль (мкс) | Верхний квартиль (мкс) |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 500 | 76 | 50 | 1886 | 59 | 75 | 87 |
| 1000 | 306 | 205 | 4656 | 239 | 303 | 347 |
| 1500 | 690 | 464 | 3136 | 543 | 697 | 777 |
| 2000 | 1170 | 770 | 5776 | 941 | 1180 | 1307 |
| 2500 | 1916 | 1265 | 5015 | 1580 | 1956 | 2155 |
| 3000 | 2755 | 1878 | 12636 | 2347 | 2832 | 3049 |
| 3500 | 3561 | 2507 | 6564 | 3027 | 3618 | 3984 |
| 4000 | 4897 | 3326 | 11877 | 4512 | 5004 | 5345 |
| 4500 | 5834 | 4262 | 9154 | 5013 | 5933 | 6498 |
| 5000 | 7652 | 5240 | 12541 | 7103 | 7803 | 8316 |
| 5500 | 9326 | 6385 | 12971 | 8806 | 9403 | 10002 |
| 6000 | 11008 | 7525 | 14000 | 10448 | 11109 | 11723 |
| 6500 | 13111 | 8697 | 18190 | 12550 | 13262 | 13950 |
| 7000 | 14885 | 10110 | 19278 | 14087 | 15095 | 16012 |
| 7500 | 16181 | 11487 | 28356 | 14795 | 16505 | 17613 |
| 8000 | 19201 | 13326 | 26839 | 18385 | 19625 | 20411 |
| 8500 | 20186 | 15620 | 25036 | 18757 | 20163 | 21540 |
| 9000 | 22655 | 18226 | 29254 | 21329 | 22680 | 23873 |
| 9500 | 25129 | 19261 | 33995 | 23891 | 25083 | 26121 |
| 10000 | 27968 | 22374 | 36422 | 26801 | 27796 | 28701 |
| 11000 | 32623 | 24613 | 42094 | 32099 | 32848 | 33597 |
| 12000 | 36687 | 30600 | 44229 | 34715 | 37240 | 38066 |
| 13000 | 41190 | 36973 | 52874 | 39725 | 40981 | 42404 |
| 14000 | 46243 | 42335 | 59689 | 45288 | 46004 | 46889 |
| 15000 | 51265 | 47385 | 68395 | 50356 | 50993 | 51792 |
| 16000 | 56270 | 52194 | 80367 | 55070 | 55887 | 56895 |
| 17000 | 62240 | 57928 | 88429 | 60986 | 61920 | 63242 |
| 18000 | 67786 | 64363 | 91808 | 66465 | 67318 | 68659 |
| 19000 | 74905 | 70907 | 86695 | 73521 | 74603 | 76026 |
| 20000 | 81325 | 78424 | 99713 | 80332 | 81013 | 81832 |

**График с усами**

**C:\Users\777\Downloads\mustache.emf**

## **Вопросы по заданию**

1. Какой способ обработки быстрее и почему?

Самым быстрым способом обработки является сортировка вставками, реализованная через указатели, с уровнем оптимизации O2. Так как мы исследовали не только различные реализации, но также использовали разные уровни оптимизации, то корректно будет сравнивать скорости работы у исполняемых файлов, которые были собраны с одинаковой оптимизацией. Обработка с помощью реализации через указатели является самой быстрой, так как мы избавляемся от дополнительных вычислений. Которые необходимо производить, например, для обращения к участку памяти которому соответствует индекс или для изменения того же самого индекса.

1. В датасете обнаружена серия экспериментов с одним результатом. Можно ли заменить её одним экспериментом?

Нет, нельзя, потому что это изменит многие результаты эксперимента и уменьшит точность произведенных измерений. Например, при подсчете среднего медианного будет потеряна точность. И вот простое доказательство:

Возьмем пять измерений: 1 1 1 2 3

Заменим три одинаковых измерения: 1 2 3

В первом случае среднее медианное равно 1, а во втором мы потеряли точность и среднее медианное стало равно 2.

Схожие последствия ожидают нас при вычислении множества других параметров.

1. Если заполнение случайными числами массива (или любая другая инициализация) присутствует в каждом эксперименте, то почему Вы замеряете время только у целевого алгоритма?

Инициализация массива может занимать различное количество времени, которое нельзя узнать точно. Таким образом измерение времени работы всей программы, а не исключительно целевого алгоритма, даст нам результаты с большей погрешностью. В связи с этим мы проводим замеры только у целевого алгоритма.