Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ» (Московский Инженерно–Физический Институт)
Кафедра №42 «Криптология и кибербезопасность»

ОТЧЁТ

Лабораторная работа №2:
«Выделение ресурса параллелизма. Технология OpenMP»

Группа Б21-525
Студент Р.Т. Мясников
Преподаватель М.А. Куприяшин

Москва 2023

Оглавление

1. Описание рабочей среды

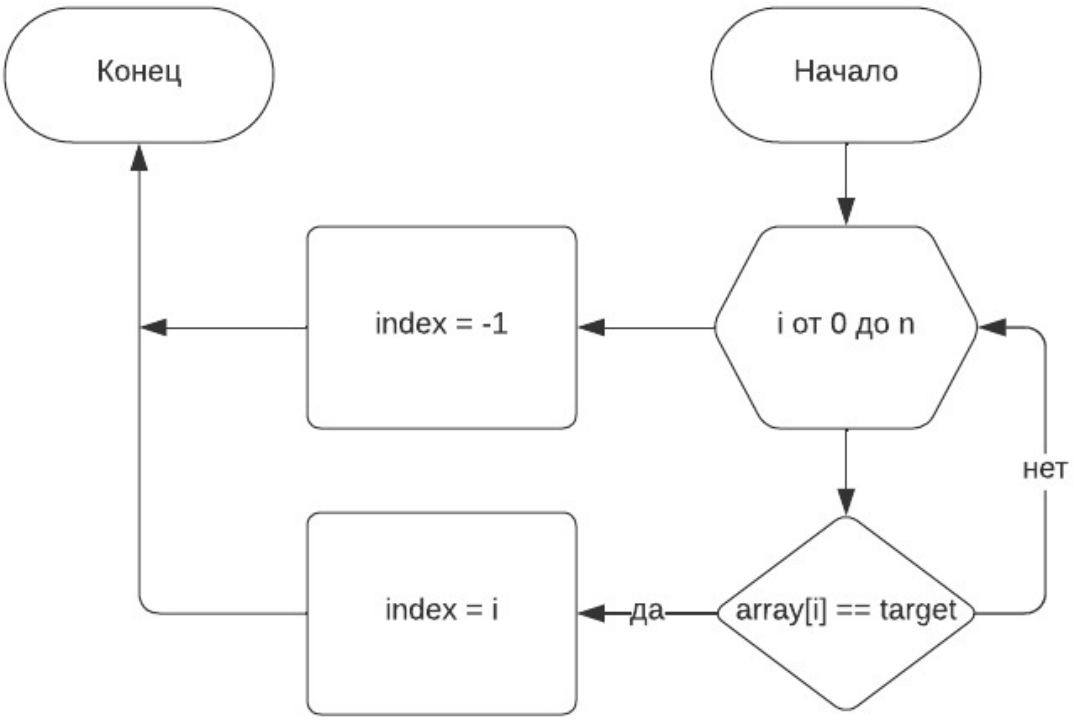
- Модель процессора:	Intel Core i3-10110U CPU @ 2.10GHz
- Число ядер:	2
- Число потоков:	4
- Архитектура:	x86-64
- ОС:	Linux, дистрибутив Ubuntu v20.04
- RAM объем:	2x8192 MB
- RAM тип:	DDR4
- Среда разработки:	Visual Studio Code
- Компилятор:	gcc v9.4.0
- Версия OpenMP:	201511

2. Анализ приведенного алгоритма

В задании лабораторной работы приведена программа, осуществляющая поиск заданного элемента в массиве.

Основное отличие от задания лабораторной работы 1 заключается в том, что при первом нахождение заданного элемента продолжать поиск не требуется.

Блоксхема алгоритма



Описание используемых директив OpenMP

`parallel` - определяет параллельную область, которая представляет собой код, который будет выполняться несколькими потоками параллельно. Директива `parallel` была объявлена со следующими атрибутами:

- `num_threads()` - задаёт количество потоков в параллельном блоке (по умолчанию `parallel` использует все потоки);
- `shared()` - объявляет, что переменные должны быть общими между всеми потоками;

`for` - разделяет работу цикла между потоками (без неё каждый поток обрабатывал бы весь массив).

Действие директивы `parallel` распространяется на следующий блок программного кода:

```
#pragma omp for
for(int i = 0; i < count; i++) {
    if (flag) continue;

    if(array[i] == target) {
        #pragma omp critical
        {
            index = i;
            flag = true;
        }
    }
}
```

В свою очередь директива `for` действует на следующую строку:

```
for(int i = 0; i < count; i++)
```

`critical` - определяет раздел кода, который должен выполняться одним потоком за раз.

Описание работы алгоритма

Дерективой `parallel` объявляется блок кода, который будет исполняться параллельно. Далее внутри `for` потоки распередяют меду собой итерации цикла. Каждый поток ищет элемент равный заданному. При нахождении такого элемента внутри `critical` переменной `index` присваевается найденное значение индекса. После этого потоки перестают искать элемент, пропуская итерации цикла с помощью `continue`.

3. Анализ временных характеристик последовательного алгоритма

Описание эксперимента

- Эксперименты проводились на шести типах массивов

  mode 0: Заданный элемент находится на первой позиции
  mode 1: Заданный элемент находится в центре массива
  mode 2: Заданный элемент находится на последней позиции
  mode 3: Поиск рандомного элемента из массива
  mode 4: Все элементы подходят
  mode 5: Ни один элемент не подходит

- Измеряется время работы алгоритма на 1 000 различных массивах длиной 10 000 000 элементов. Находится среднее значение;

Экспериментальные показатели

- Среднее время работы последовательного алгоритма

  mode 0: `O(1)` $1.7 * 10^{-7}$ [c]
  mode 1: `O(n)` 0.01300013 [c]
  mode 2: `O(n)` 0.02465431 [c]
  mode 3: `O(n)` 0.01212091 [c]
  mode 4: `O(1)` $2.3 * 10^{-7}$ [c]
  mode 5: `O(n)` 0.0260270390 [c]

4. Анализ временных характеристик параллельного алгоритма

Описание эксперимента

- Эксперименты проводились на шести типах массивов

  mode 0: Заданный элемент находится на первой позиции
  mode 1: Заданный элемент находится в центре массива
  mode 2: Заданный элемент находится на последней позиции
  mode 3: Поиск рандомного элемента из массива
  mode 4: Все элементы подходят
  mode 5: Ни один элемент не подходит

- измеряется время работы алгоритма для одного и того же массива, но на разном числе потоков: от 1 до 10;
- измерения производятся для 1 000 различных массивов, размер массива 10 000 000 элементов.

Результаты измерений

Следующие таблицы содержат полученные в результате эксперимента данные: среднее время работы для различного числа потоков и конфигураций массивов.

threads	mode 0
1	0.012916
2	0.007029
3	0.005729
4	0.004915
5	0.006837
6	0.005876
7	0.005284
8	0.004959
9	0.005627
10	0.005453

threads	mode 1
1	0.017338
2	0.007039
3	0.007438
4	0.004929
5	0.008002
6	0.010619
7	0.007856
8	0.006534
9	0.007855
10	0.006564

threads	mode 2
1	0.025239
2	0.013164
3	0.009254
4	0.007990
5	0.008930
6	0.008778
7	0.008453
8	0.007874
9	0.008262
10	0.008053

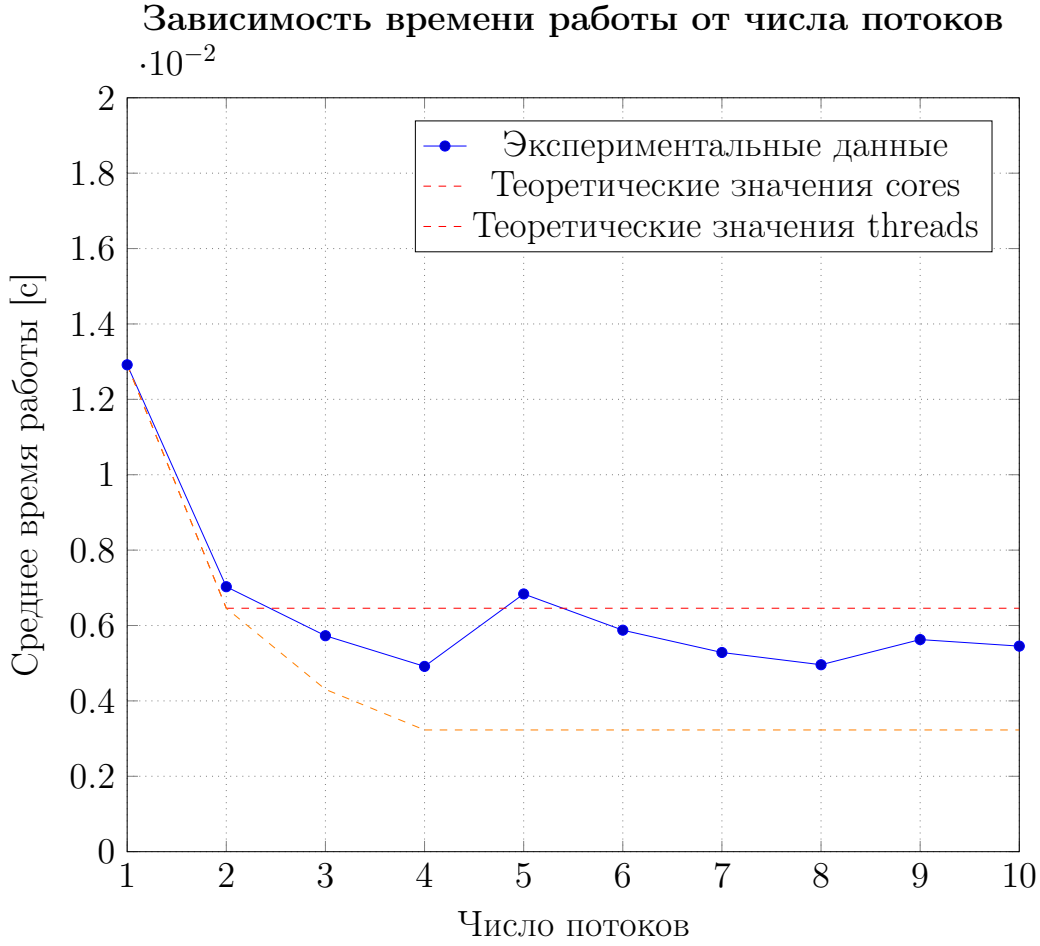
threads	mode 3
1	0.017379
2	0.009604
3	0.007436
4	0.006459
5	0.007828
6	0.007422
7	0.006848
8	0.006517
9	0.007118
10	0.006963

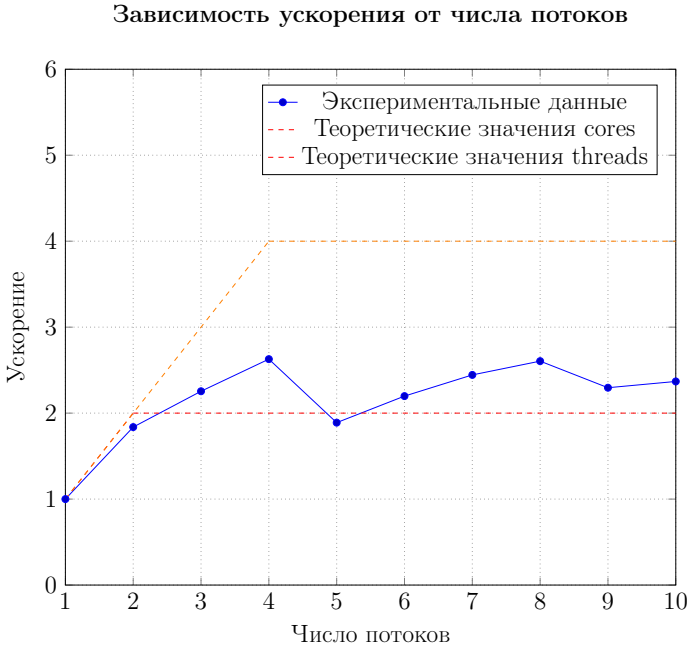
threads	mode 4
1	0.012749
2	0.007006
3	0.005721
4	0.004946
5	0.006310
6	0.005899
7	0.005282
8	0.004964
9	0.005594
10	0.005449

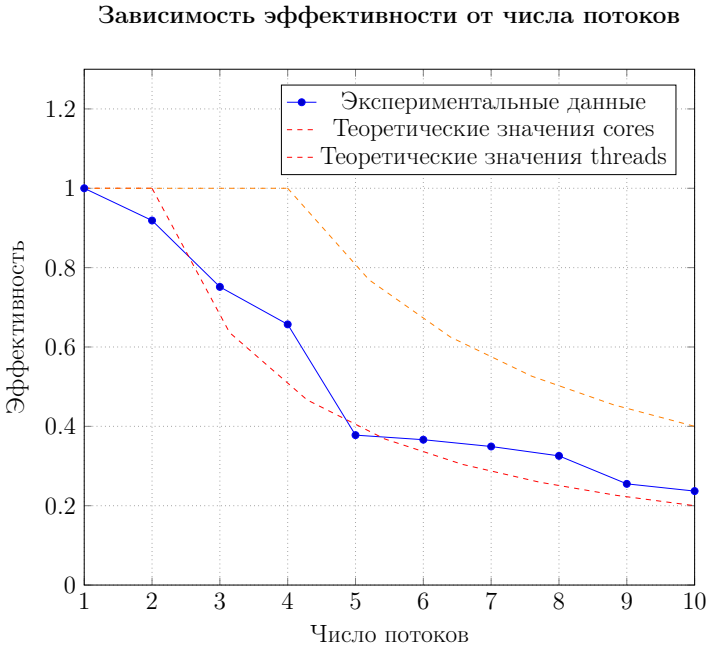
threads	mode 5
1	0.022069
2	0.012364
3	0.009657
4	0.007919
5	0.010624
6	0.009390
7	0.008564
8	0.008148
9	0.009218
10	0.008826

Графики

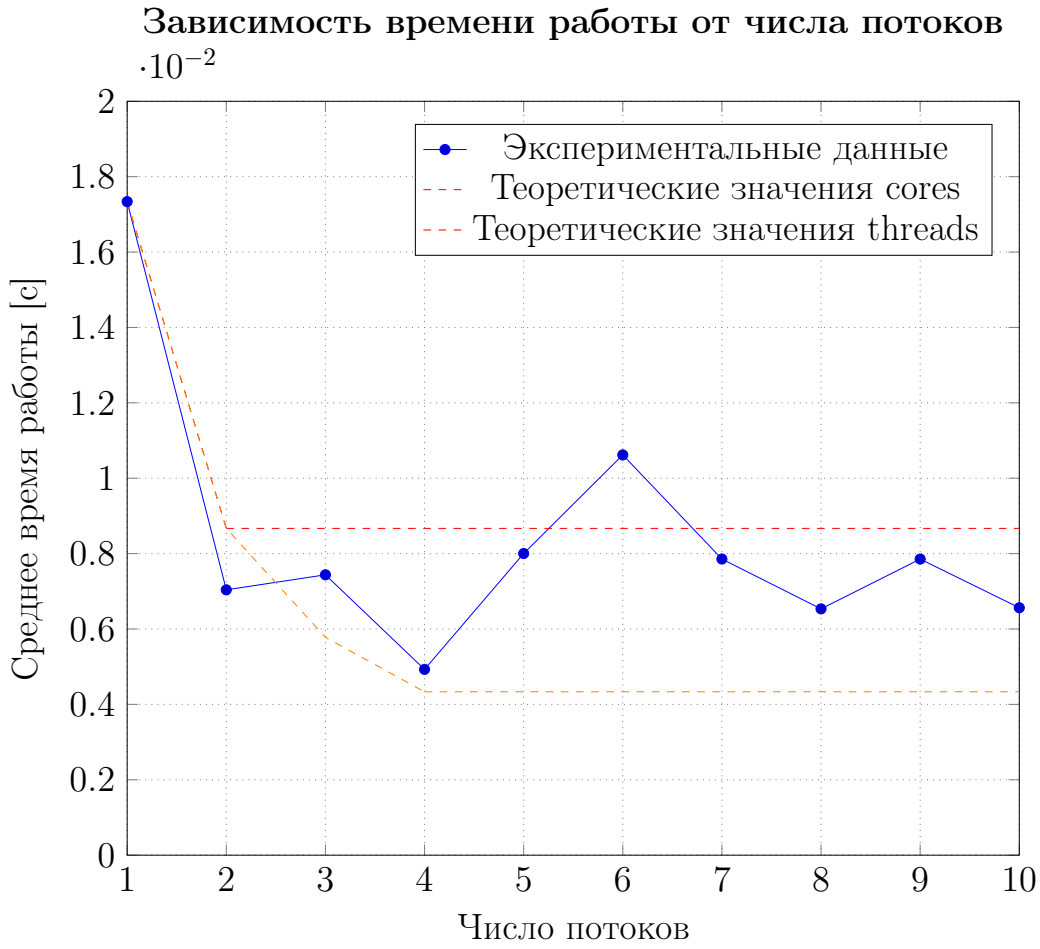
1. Заданный элемент на первой позиции (mode 0)

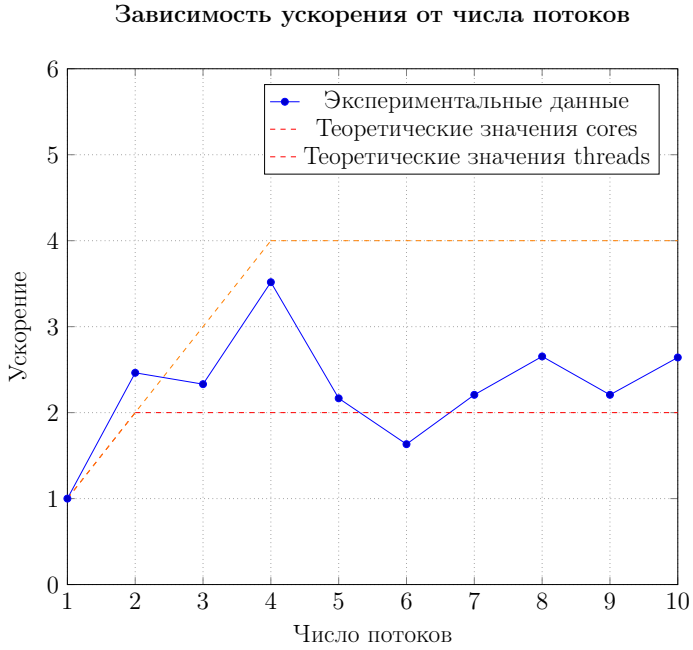


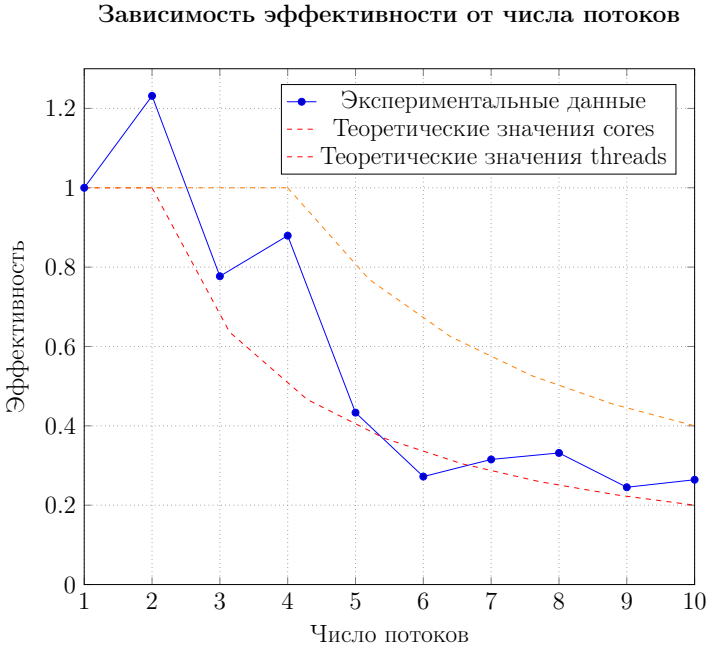




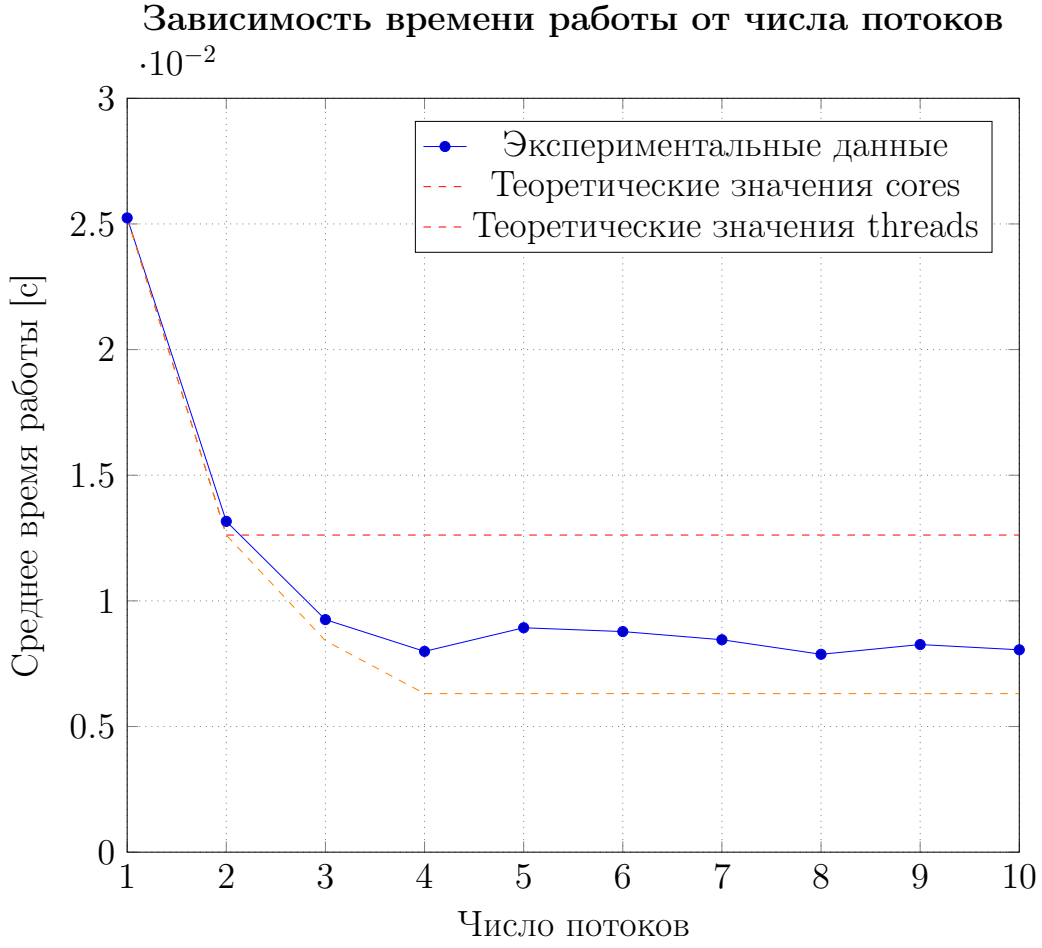
2. Заданный элемент в центре (mode 1)

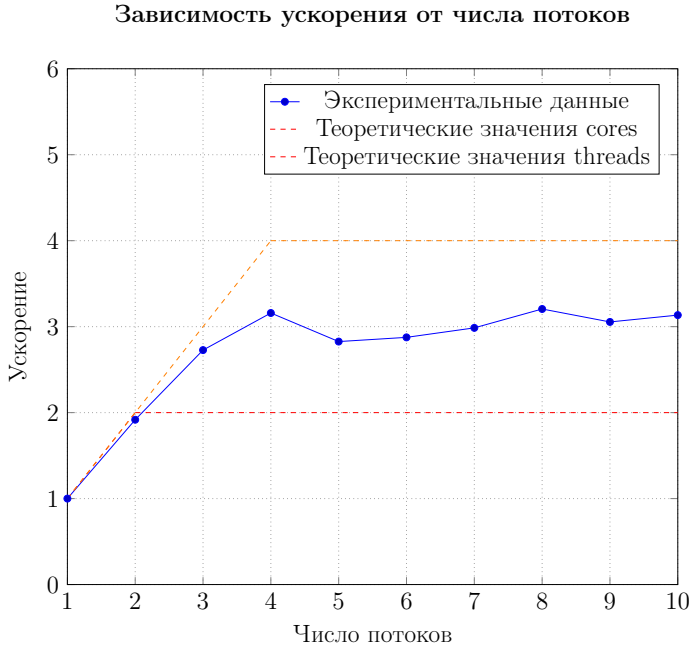


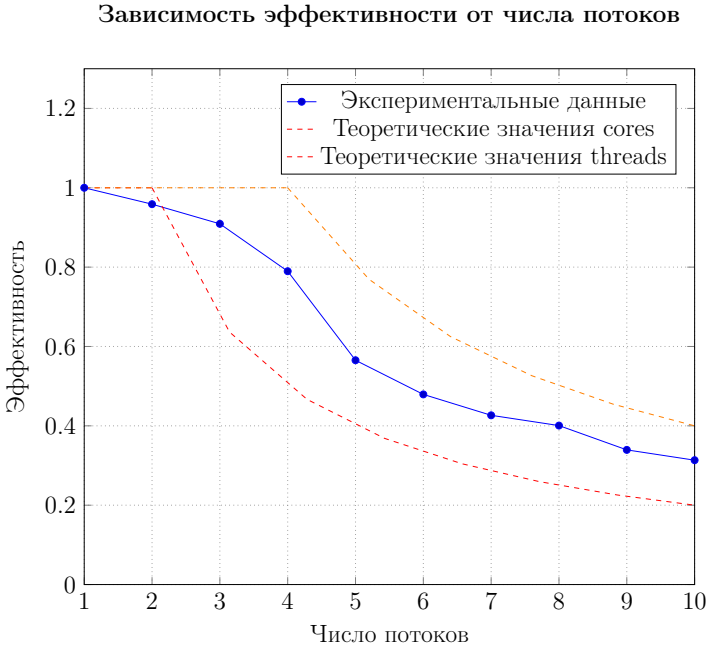




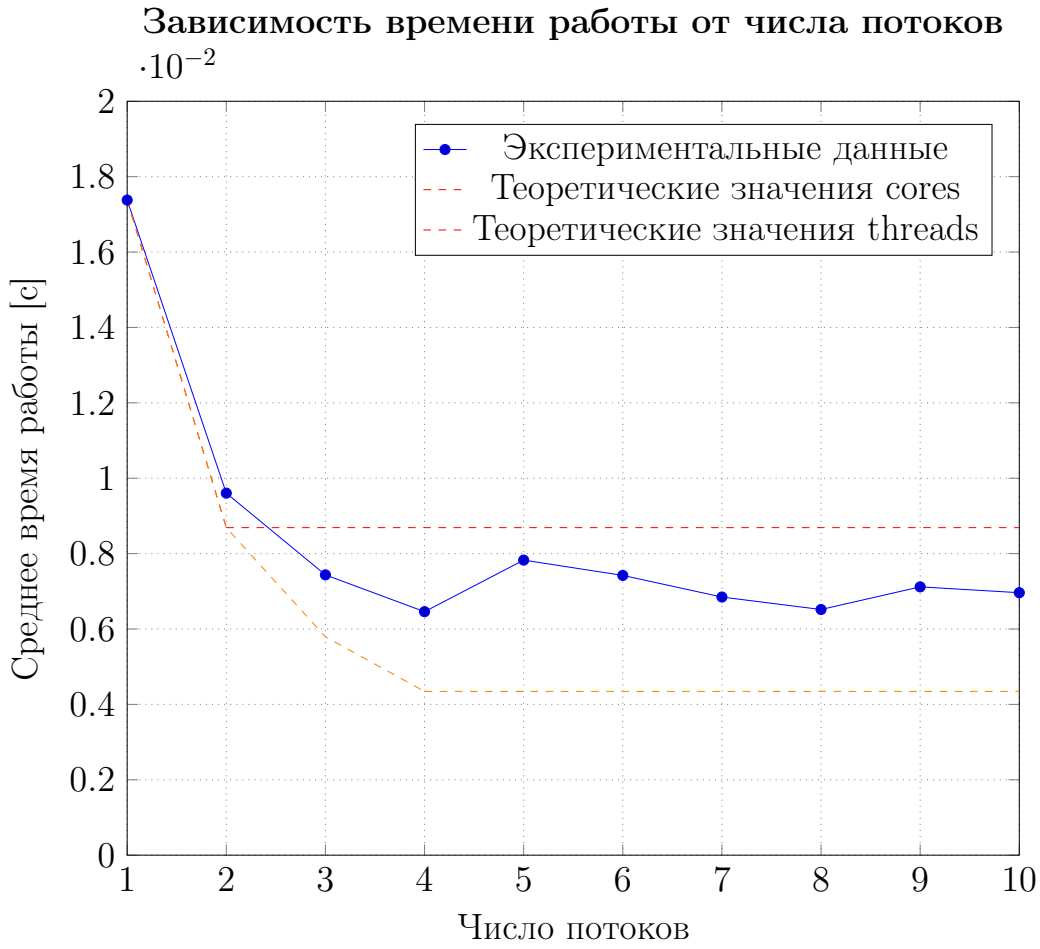
3. Заданный элемент на последней позиции (mode 2)

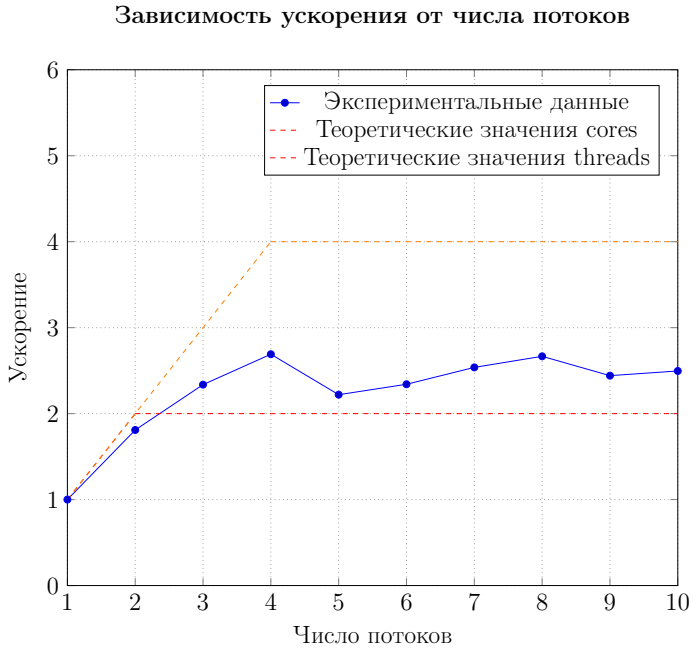


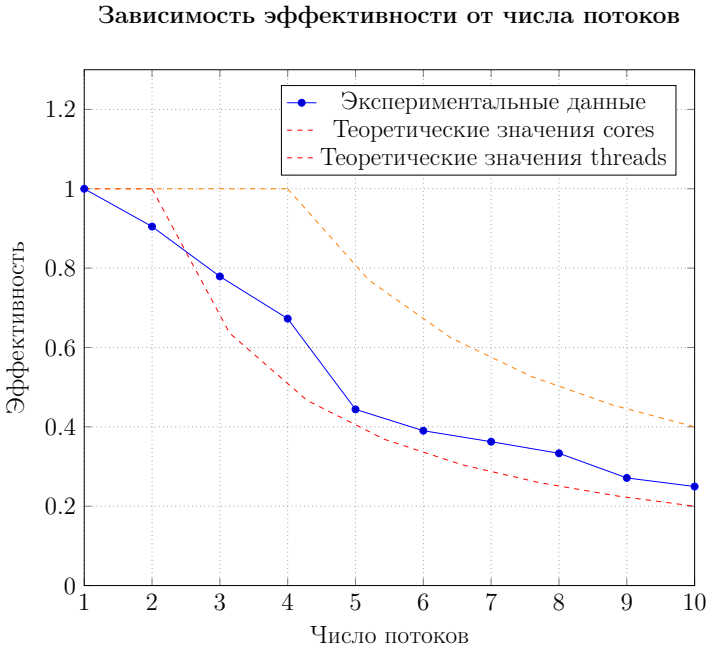




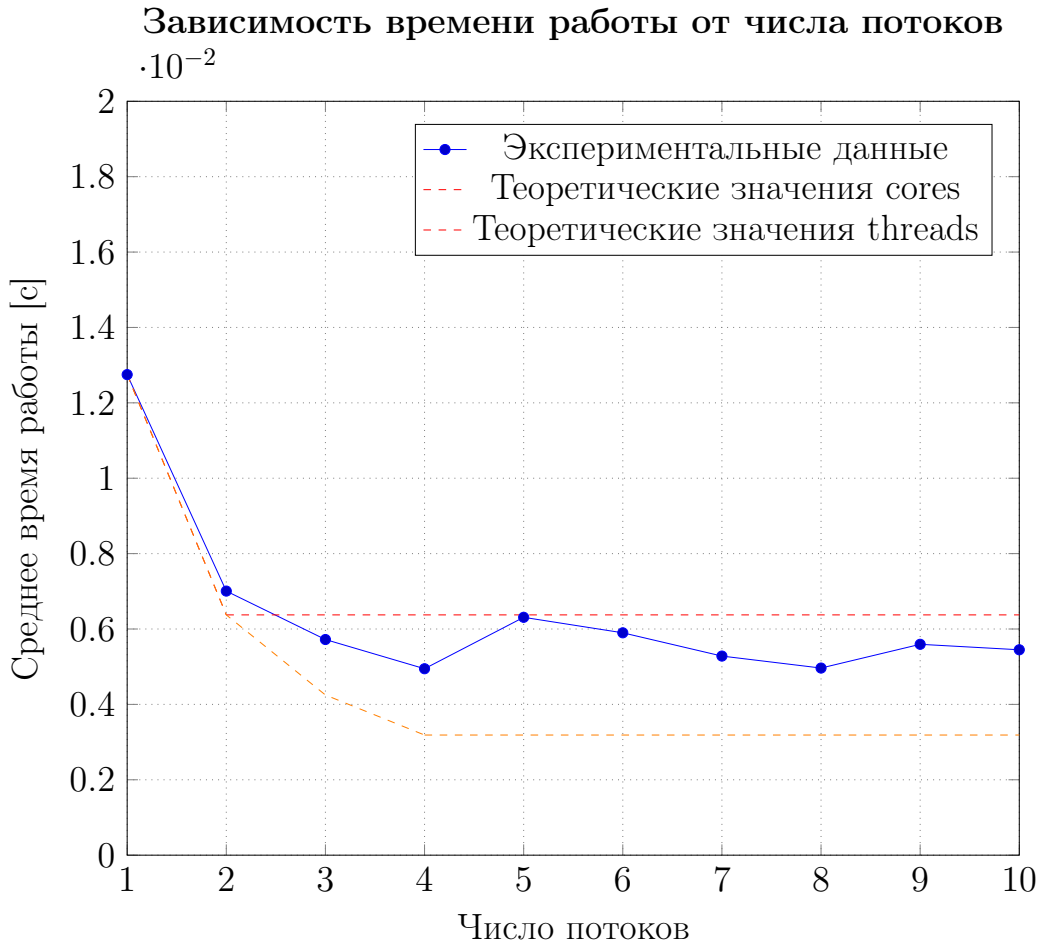
4. Поиск рандомного элемента из массива (mode 3)

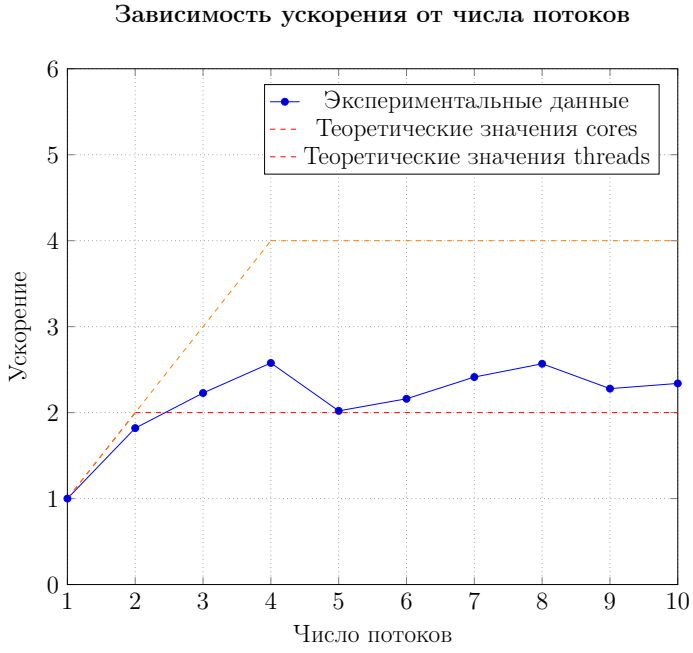


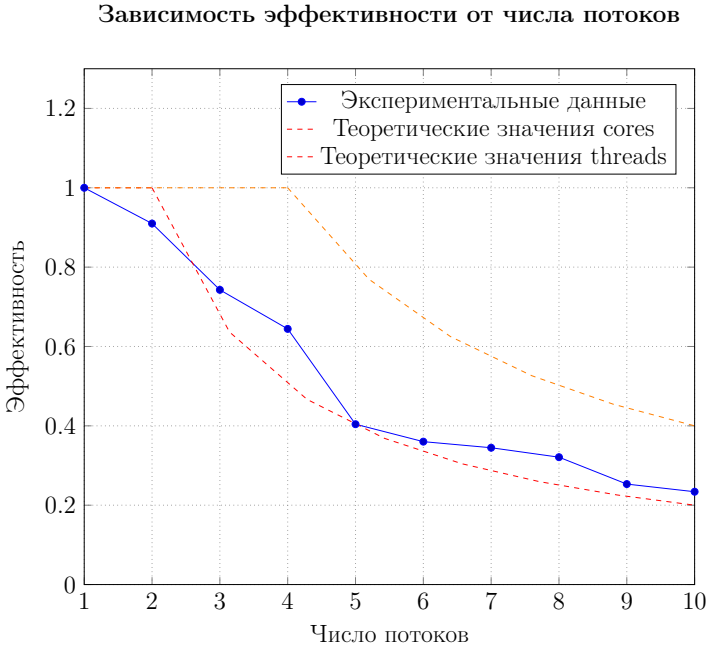




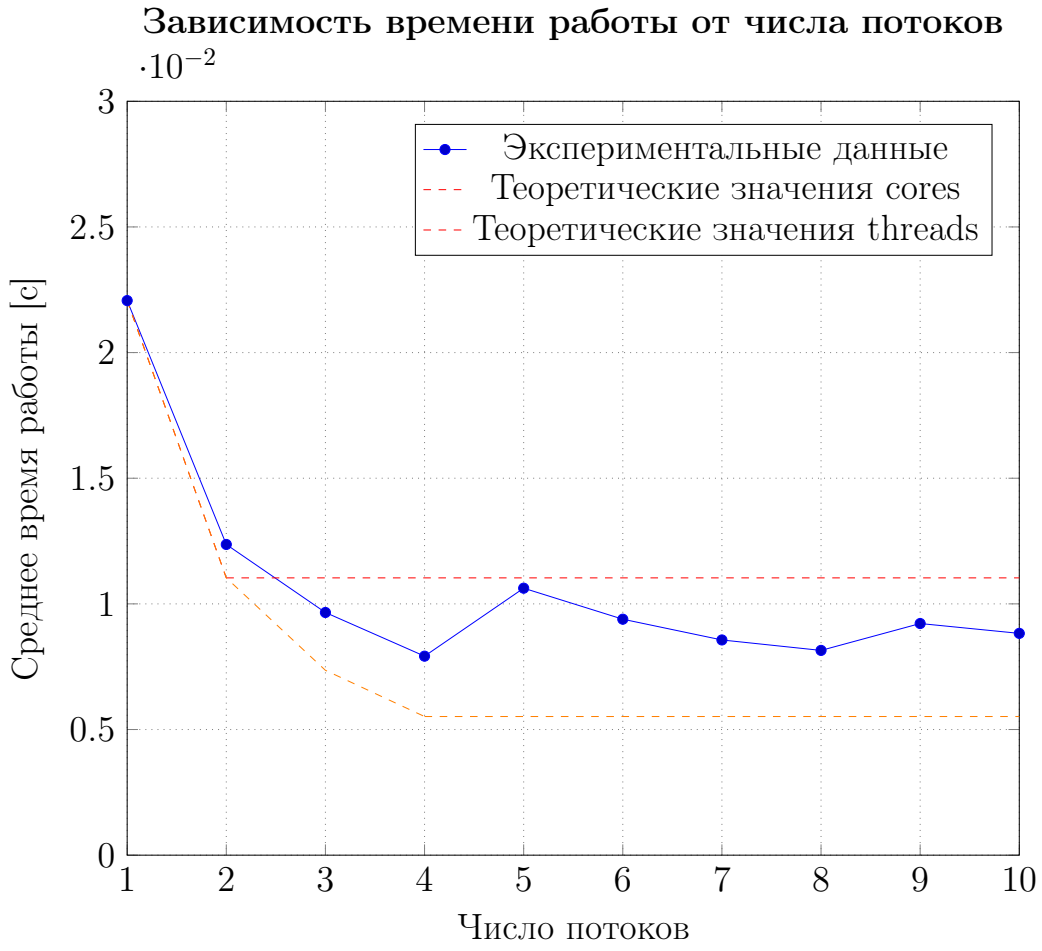
5. Все элементы подходят (mode 4)

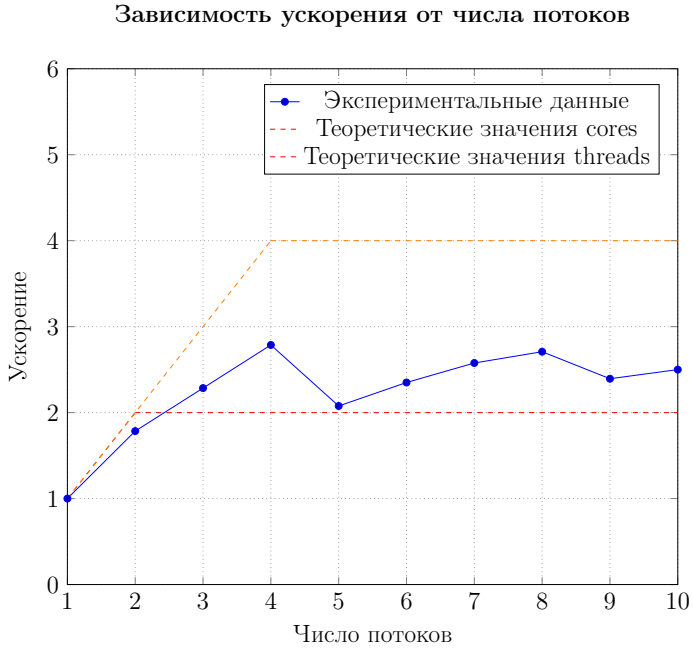


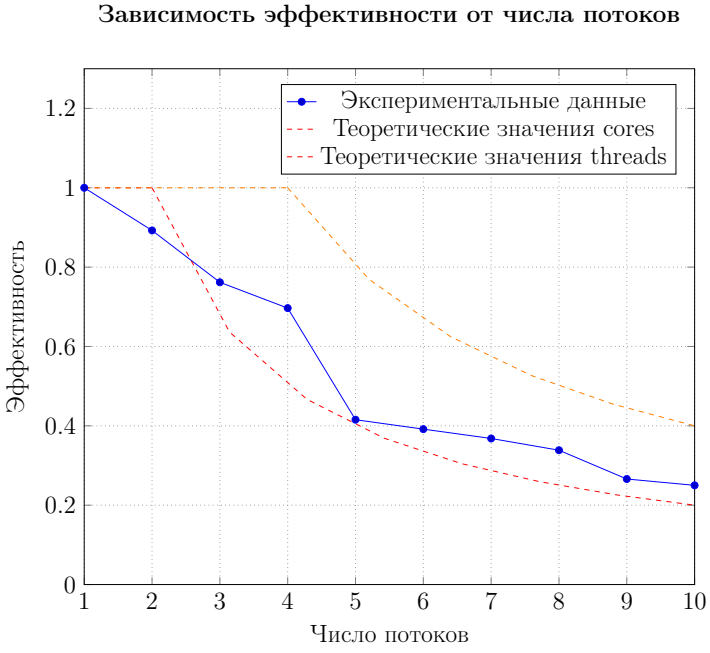




6. Ни один элемент не подходит (mode 5)







5. Заключение

В ходе лабораторной работы было измерено время работы алгоритма поиска заданного элемента в массиве для различного числа потоков. По полученным данным были вычислены значения ускорения и эффективности для шести видов массивов. Построены соответствующие графики. Анализируя результаты эксперимента, можно обратить внимание на следующее:

- среднее время работы алгоритма уменьшается с ростом числа потоков до 4 включительно. Затем среднее время работы увеличивается при 5 потоках. При последующем увеличении числа потоков среднее время работы уменьшается;
- минимальное время работы алгоритма происходит на 4 потоках во всех случиях;

Стоит отметить, что при реализации случиев, когда сложность алгоритма равнялась `O(1)`, линейный алгоритм показывал результаты на несколько порядков лучше, чем параллельный:

mode	линейная	параллельная
0	$1.7 * 10^{-7}$ [c]	$4.915 * 10^{-3}$ [c]
4	$2.3 * 10^{-7}$ [c]	$4.946 * 10^{-3}$ [c]

Это связано с техническими ограничениями. Линейный алгоритм сразу после нахождения элемента может прервать выполнение цикла, а параллельный обязан пройтись по всем итерациям.

Динамика значения среднего времени работы во всех испытаниях, кроме второго, показывает значительный рост ускорения при переходе с `1 thread` до `2 threads`, что связано с физическим количеством ядер (2). Следующий рост до `4 threads` осуществляется технологией Hyper Threading, позволяя более эффективно использовать ресурсы процессора, однако эффективность уже не такая высокая. Отклонение от теоретического графика threads связано с потреблением временных ресурсов при создании новых потоков, а также при синхронизации на выходе из параллельного блокая; и меньшим количеством физических ядер по сравнению с логическими. Небольшой скачок при `5 threads` объясняется превышением требуемым числом потоков числа логических ядер.

Отклонением от теоритических значений наблюдается во втором испытании (`mode 1`), при котором при использовании `2 threads` экспериментальное время уменьшается больше чем в два раза, обганяя теоритическое значение. При `3 threads` время чуть увеличивается, возвращаясь к ожидаемому значению. Это связано с тем, что при `2 threads` элемент, находящийся посередине массива, оказывается в начале второго потока, из-за чего он находится сразу.

Для подтверждения сравним время `mode 0` и `mode 1` при `2 threads`:

threads	mode 0	mode 1
2	0.007029 [c]	0.007039 [c]

Значения различаются в десятых долях процента, что подтверждает предположение.

6. Приложение

Код программы расположен на github
Запуск программы: `./run`