



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.
Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н. Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ «Информатика и системы управления»

КАФЕДРА «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»

Отчет по лабораторной работе № 3 по курсу "Анализ алгоритмов"

Тема Трудоёмкость сортировок

Студент Калашков П. А.

Группа ИУ7-56Б

Оценка (баллы) _____

Преподаватели Волкова Л. Л., Строганов Ю. В.

Содержание

| | |
|--|-----------|
| Введение | 3 |
| 1 Аналитическая часть | 5 |
| 1.1 Блинная сортировка | 5 |
| 1.2 Поразрядная сортировка | 5 |
| 1.2.1 Сортировка подсчётом | 6 |
| 1.3 Сортировка бинарным деревом | 6 |
| 2 Конструкторская часть | 8 |
| 2.1 Требования к ПО | 8 |
| 2.2 Разработка алгоритмов | 8 |
| 2.3 Модель вычислений для проведения оценки трудоёмкости . . . | 13 |
| 2.4 Трудоёмкость алгоритмов | 13 |
| 2.4.1 Алгоритм блинной сортировки | 13 |
| 2.4.2 Алгоритм поразрядной сортировки | 14 |
| 2.4.3 Алгоритм сортировки бинарным деревом | 15 |
| 3 Технологическая часть | 16 |
| 3.1 Средства реализации | 16 |
| 3.2 Сведения о модулях программы | 16 |
| 3.3 Реализации алгоритмов | 16 |
| 3.4 Функциональные тесты | 18 |
| 4 Исследовательская часть | 20 |
| 4.1 Технические характеристики | 20 |
| 4.2 Демонстрация работы программы | 20 |
| 4.3 Время выполнения реализаций алгоритмов | 22 |
| Заключение | 27 |
| Список использованных источников | 28 |

Введение

Сортировка – перегруппировка некой последовательности или кортежа в определённом порядке. Это одна из главных процедур обработки структурированных данных. Расположение элементов в определённом порядке позволяет более эффективно проводить работу с последовательностью данных, в частности, при поиске некоторых данных.

Существует множество алгоритмов сортировки, но любой алгоритм сортировки выполняет следующие шаги:

- 1) сравнение, которое определяет, как упорядочена пара элементов;
- 2) перестановка для изменения порядка элементов;
- 3) последовательность действий, использующую сравнения и перестановки.

Что касается самого поиска, то при работе с отсортированным набором данных время, которое нужно на нахождение элемента, пропорционально логарифму количества элементов, если использовать бинарный поиск. Последовательность, данные которой расположены в хаотичном порядке, занимает время, которое пропорционально количеству элементов, что куда больше логарифма.

Цель работы: изучение и исследование трудоёмкости алгоритмов сортировок: блинной, поразрядной, бинарным деревом.

Задачи работы:

- 1) изучить и реализовать алгоритмы сортировки – блинной, поразрядной, бинарным деревом.
- 2) измерить времена работы реализаций алгоритмов выбранных сортировок.
- 3) сравнить и проанализировать трудоёмкости алгоритмов на основе теоретических расчетов.
- 4) сравнить и проанализировать реализации алгоритмов по затраченным процессорному времени и памяти;

- 5) описать и обосновать полученные результаты в отчёте о выполненной лабораторной работе, выполненном как расчётно-пояснительная записка к работе.

1 Аналитическая часть

В этом разделе будут рассмотрены алгоритмы сортировок – блинная, поразрядная, бинарным деревом.

1.1 Блинная сортировка

Блинная сортировка [1] (англ. *pancake sort*) – алгоритм сортировки, в котором единственная допустимая операция – это переворот элементов последовательности до какого-либо индекса. В отличие от традиционных алгоритмов, в которых минимизируют количество сравнений, в блинной сортировке требуется сделать как можно меньше переворотов. Процесс можно визуально представить как стопку блинов, которую тасуют путём взятия нескольких блинов сверху и их переворачивания.

В данной работе будет рассмотрен вариант блинной сортировки, основанный на сортировке выбором. Алгоритм состоит из нескольких шагов:

- 1) найти номер максимального числа в неотсортированной части массива;
- 2) произвести “переворот” неотсортированной части так, чтобы максимум встал на своё место;
- 3) сортировать аналогично остаточную часть массива, исключив из рассмотрения уже отсортированные элементы.

1.2 Поразрядная сортировка

Поразрядная сортировка [2] (англ. *radix sort*) – сортировка, исходно предназначенная для сортировки целых чисел, записанных цифрами. Поскольку в памяти компьютеров любая информация записывается целыми числами, алгоритм пригоден для сортировки любых объектов, запись которых можно поделить на “разряды”, содержащие сравнимые значения. Таким образом можно сортировать не только числа, записанные в виде набора цифр, но и строки, являющиеся набором символов, и даже произвольные значения в памяти, представленные в виде набора байт.

Сравнение производится поразрядно: сначала сравниваются значения одного крайнего разряда и элементы группируются по результатам этого сравнения, затем сравниваются значения следующего разряда, соседнего, и элементы либо упорядочиваются по результатам сравнения значений этого разряда внутри образованных на предыдущем проходе групп, либо переупорядочиваются в целом, но сохраняя относительный порядок, достигнутый при предыдущей сортировке. Затем аналогичные действия выполняются для следующего разряда, и так до конца.

Для поразрядной сортировки целых чисел в рамках одного разряда удобно использовать сортировку подсчётом – рассмотрим её ниже.

1.2.1 Сортировка подсчётом

Сортировка подсчётом [2] (англ. *counting sort*) – алгоритм сортировки, в котором используется диапазон чисел сортируемого массива (списка) для подсчёта совпадающих элементов. Данный алгоритм состоит из двух основных этапов.

1. Создать вспомогательный массив, состоящий из нулей, затем последовательно прочитать элементы входного массива, для каждого из них увеличить соответствующее значение вспомогательного массива на единицу.
2. Обойти вспомогательный массив и для каждого i -го значения X записать в результирующий массив i -ое значение X раз.

1.3 Сортировка бинарным деревом

Сортировка бинарным деревом [3] (англ. *binary search tree sort*) – универсальный алгоритм сортировки, заключающийся в построении двоичного дерева поиска по элементам массива (списка), с последующей сборкой результирующего массива путём обхода узлов построенного дерева в необходимом порядке следования ключей.

Бинарное дерево поиска [3] (англ. *binary search tree*) – двоичное дерево, для которого выполняются следующие дополнительные условия.

1. Оба поддерева – левое и правое – являются двоичными деревьями поиска.
2. У всех узлов левого поддерева произвольного узла X значения ключей данных меньше, нежели значение ключа данных самого узла X .
3. У всех узлов правого поддерева произвольного узла X значения ключей данных больше либо равны значению ключа данных самого узла X .

Преобразование бинарного дерева поиска в результирующий массив с отсортированными данными следует делать при помощи обратного обхода бинарного дерева – обхода, при котором сначала обходится левое поддерево данной вершины, затем правое, затем данная вершина.

Вывод

В данной работе необходимо реализовать алгоритмы сортировки, описанные в данном разделе, а также провести оценку их трудоёмкости и проверить её экспериментально. Реализации алгоритмов должны принимать на вход массив целых чисел и возвращать отсортированный массив целых чисел, поданных на вход. Требуется реализовать программу, способную при помощи меню взаимодействовать с пользователем, получать входные данные посредством ручного ввода или чтения из файла, выбирать конкретную сортировку, а также измерять время работы реализаций алгоритмов на отсортированных по возрастанию и убыванию массивах, а также на заполненных случайными числами массивах разных длин.

2 Конструкторская часть

В данном разделе будут рассмотрены схемы алгоритмов сортировок (блин-ной, поразрядной, бинарным деревом), а также найдена их трудоёмкость

2.1 Требования к ПО

Выделен ряд требований к программе:

- на вход подается массив целых чисел в диапазоне от 0 до 10000;
- возвращается отсортированный по возрастанию массив, который был задан в предыдущем пункте.

2.2 Разработка алгоритмов

На рисунках 2.1, 2.2, 2.3 и 2.4 представлены схемы алгоритмов сортировки – блин-ной, поразрядной, подсчётом и бинарным деревом.

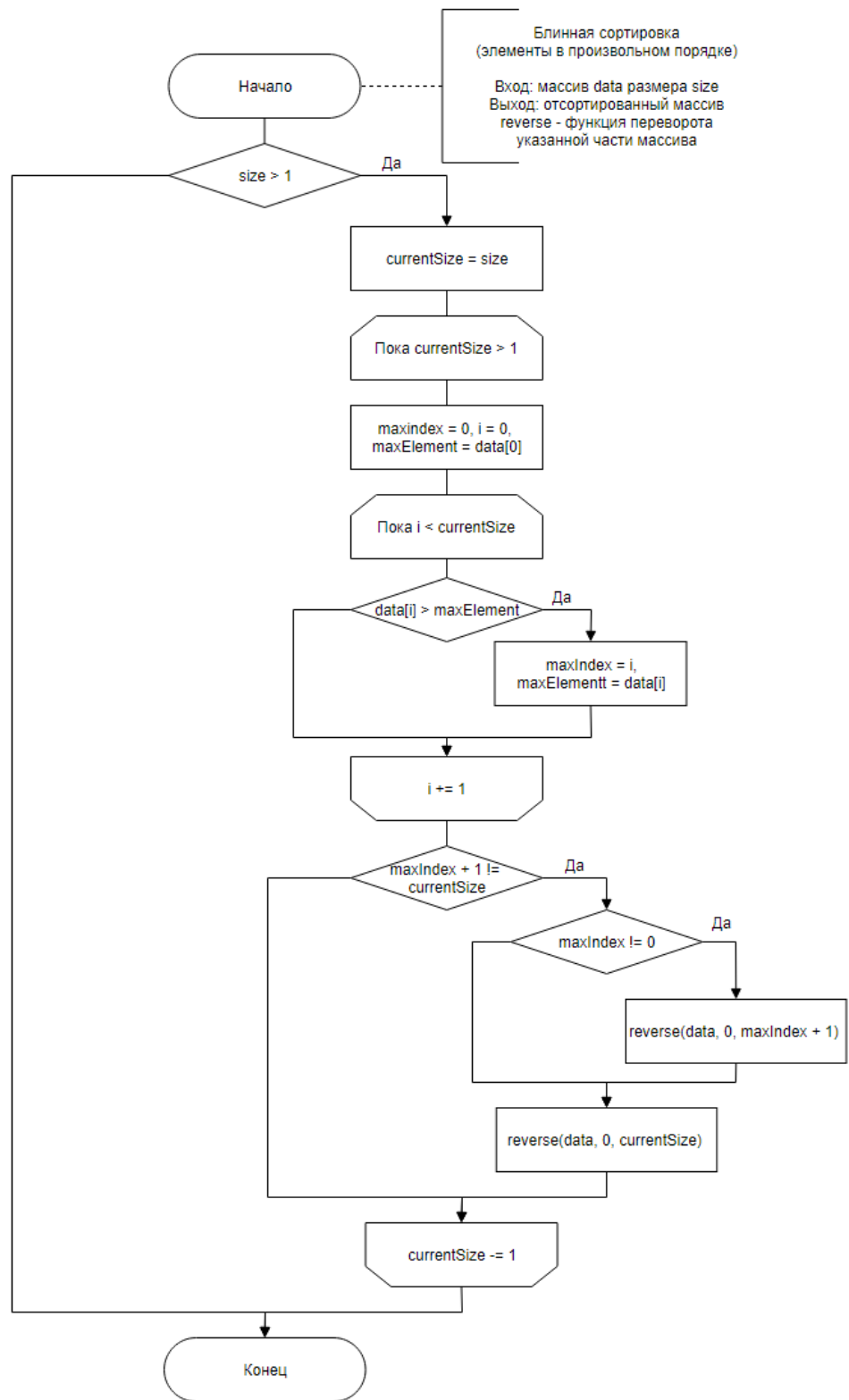


Рисунок 2.1 – Схема алгоритма блинной сортировки

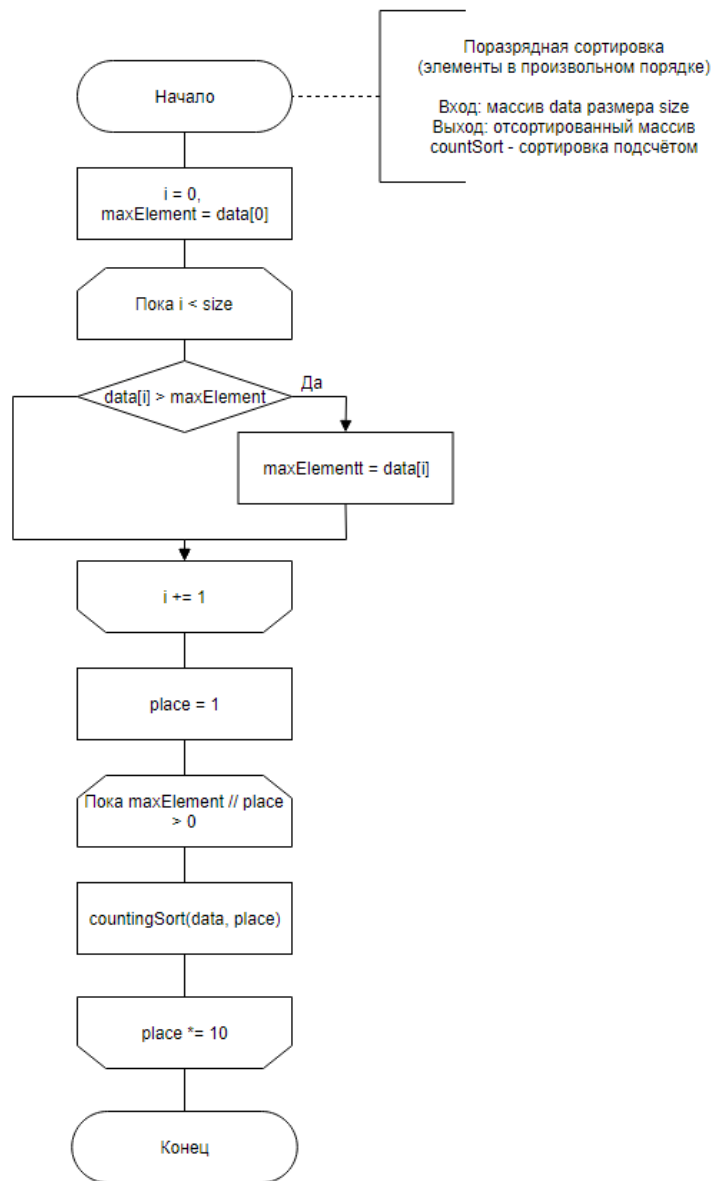


Рисунок 2.2 – Схема алгоритма поразрядной сортировки

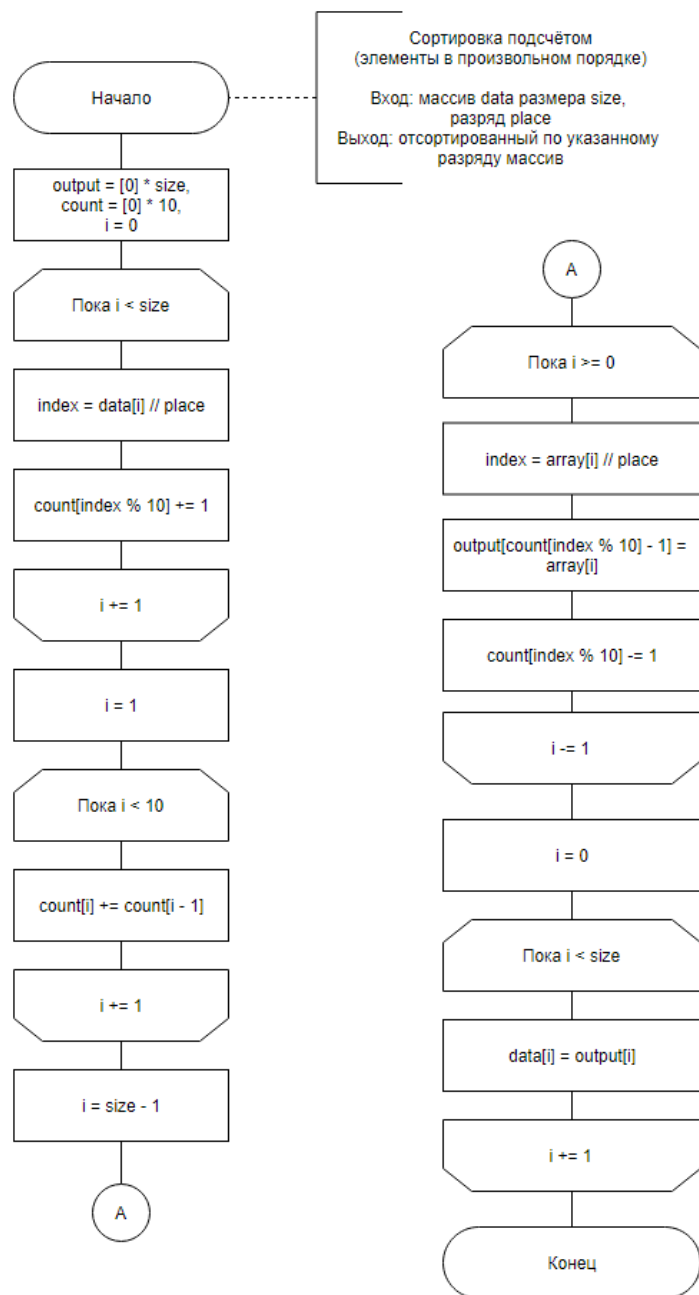


Рисунок 2.3 – Схема алгоритма сортировки подсчётом

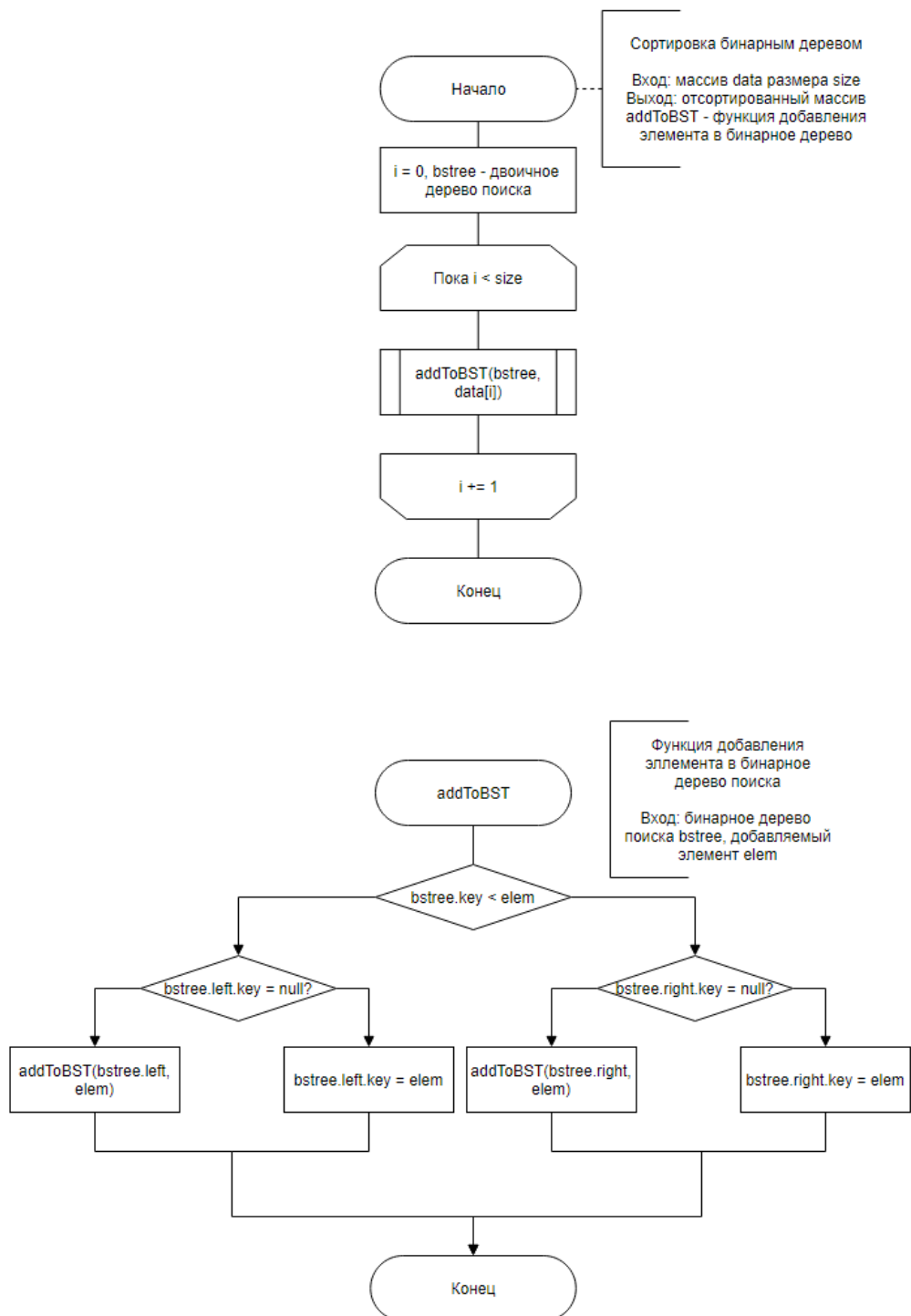


Рисунок 2.4 – Схема алгоритма сортировки бинарным деревом

2.3 Модель вычислений для проведения оценки трудоёмкости

Введем модель вычислений [4], которая потребуется для определения трудоёмкости каждого отдельно взятого алгоритма сортировки.

- 1) Операции из списка (2.1) имеют трудоёмкость, равную 1:

$$+, -, /, *, \%, =, + =, - =, * =, / =, \% =, ==, !=, <, >, <=, >=, [], ++, -- \quad (2.1)$$

- 2) Трудоёмкость оператора выбора `if условие then A else B` рассчитывается как

$$f_{if} = f_{условия} + \begin{cases} f_A, & \text{если условие выполняется,} \\ f_B, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (2.2)$$

- 3) Трудоёмкость цикла рассчитывается как

$$f_{for} = f_{инициализации} + f_{сравнения} + N(f_{тела} + f_{инкремент} + f_{сравнения}). \quad (2.3)$$

- 4) Трудоёмкость вызова функции равна 0.

2.4 Трудоёмкость алгоритмов

Определим трудоёмкость выбранных алгоритмов сортировки по схемам алгоритмов.

2.4.1 Алгоритм блинной сортировки

Трудоёмкость алгоритма блинной сортировки включает в себя следующие составляющие.

- Трудоёмкость сравнения внешнего цикла $if(size > 1)$, которая равна (2.4):

$$f_{if} = 1 + \begin{cases} 0, & \text{л.с.} \\ f_{cycle}, & \text{х.с.} \end{cases} \quad (2.4)$$

- Трудоёмкость цикла, количество итераций которого равна $size$, которая равна (2.5):

$$f_{cycle} = 2 + size \cdot f_{body} \quad (2.5)$$

- Трудоёмкость тела цикла f_{body} равна (2.6):

$$f_{body} = 1 + \frac{(size + 2) \cdot 5}{2} + 3 + f_{if} + 2 \quad (2.6)$$

- Трудоёмкость условия во внутреннем цикле, которая равна (2.7):

$$f_{if} = 4 + \begin{cases} 2, & \text{л.с.} \\ 7 + \frac{size \cdot 3 \cdot 2}{2}, & \text{х.с.} \end{cases} \quad (2.7)$$

Трудоёмкость алгоритма в лучшем случае (массив уже отсортирован) (2.8):

$$f_{best} = 2 + size \cdot \left(6 + \frac{5 \cdot (size + 2)}{2} + 2\right) \quad (2.8)$$

$$= 2 + \frac{23}{2} \cdot size + \frac{5 \cdot size^2}{2} \approx \frac{5 \cdot size^2}{2} \approx O(size^2) \quad (2.9)$$

Трудоёмкость в худшем случае (2.10):

$$f_{worst} = 2 + size \cdot \left(6 + \frac{5 \cdot (size + 2)}{2} + 7 + size \cdot 3\right) \quad (2.10)$$

$$= 2 + \frac{39}{2} \cdot size + \frac{7 \cdot size^2}{2} \approx \frac{7 \cdot size^2}{2} \approx O(size^2) \quad (2.11)$$

2.4.2 Алгоритм поразрядной сортировки

Трудоёмкость алгоритма поразрядной сортировки равна

$$f_{radix} = 1 + 2 + 5 \cdot size + 1 + 2 + m * (f_{count} + 1 + 2), \quad (2.12)$$

где

m - количество разрядов в максимальном элементе

f_{count} - трудоёмкость алгоритма сортировки подсчётом.

Трудоёмкость алгоритма сортировки подсчётом (2.13):

$$\begin{aligned} f_{count} &= size + 10 + 2 + size \cdot 8 + 2 + 10 \cdot 6 + 3 \\ &\quad + size \cdot 14 + 1 + size \cdot 5 \\ &= 78 + 28 \cdot size \end{aligned} \quad (2.13)$$

Итоговая трудоёмкость поразрядной сортировки, использующей сортировку подсчётом в рамках одного разряда:

$$f_{radix} = 6 + 2 \cdot size + m \cdot (28 \cdot size + 78) \approx 28 \cdot m \cdot size \approx O(size \cdot m) \quad (2.14)$$

2.4.3 Алгоритм сортировки бинарным деревом

Трудоёмкость данного алгоритма посчитаем следующим образом: сортировка – преобразование массива или списка в бинарное дерево поиска посредством операции вставки нового элемента в бинарное дерево. Операция вставки в бинарное дерево имеет сложность $\log_2(size)$, где $size$ - количество элементов в дереве. Для преобразования массива или списка размером $size$ потребуется использовать операцию вставки в бинарное дерево $size$ раз, таким образом, итоговая трудоёмкость данной сортировки будет равна (2.15):

$$f_{radix} = size \cdot \log_2(size) \quad (2.15)$$

Вывод

Были разработаны схемы всех трех алгоритмов сортировки. Также для каждого из них были рассчитаны трудоёмкости по введённой модели вычислений с учётом лучших и худших случаев.

3 Технологическая часть

В данном разделе будут рассмотрены средства реализации, а также представлены листинги реализаций рассматриваемых сортировок.

3.1 Средства реализации

В данной работе для реализации был выбран язык программирования *Python* [5]. В текущей лабораторной работе требуется замерить процессорное время работы выполняемой программы и визуализировать результаты при помощи графиков. Инструменты для этого присутствуют в выбранном языке программирования.

Время работы было замерено с помощью функции *process_time(...)* из библиотеки *time* [6].

3.2 Сведения о модулях программы

Программа состоит из шести модулей:

- 1) *main.py* – файл, содержащий точку входа;
- 2) *menu.py* – файл, содержащий код меню программы;
- 3) *test.py* – файл, содержащий код тестирования алгоритмов;
- 4) *utils.py* – файл, содержащий служебные алгоритмы;
- 5) *constants.py* – файл, содержащий константы программы;
- 6) *algorithms.py* – файл, содержащий код всех алгоритмов.

3.3 Реализации алгоритмов

В листингах 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 представлены реализации алгоритмов сортировок (блинной, поразрядной, подсчётом и бинарным деревом).

Листинг 3.1 – Алгоритм блинной сортировки

```
1  def pancakeSort(data, size):
2      if size > 1:
3          for currentSize in range(size, 1, -1):
4              maxIndex = max(range(currentSize), key =
5                  data.__getitem__)
6              if maxIndex + 1 != currentSize:
7                  if maxIndex != 0:
8                      data[:maxIndex + 1] =
9                          reversed(data[:maxIndex + 1])
10                     data[:currentSize] =
11                         reversed(data[:currentSize])
12
13     return data
```

Листинг 3.2 – Алгоритм поразрядной сортировки

```
1  def radixSort(data, size):
2      maxElement = max(data)
3      place = 1
4      while maxElement // place > 0:
5          countingSort(data, size, place)
6          place *= 10
7      return data
```

Листинг 3.3 – Алгоритм сортировки подсчётом

```
1  def countingSort(array, size, place):
2      output = [0] * size
3      count = [0] * 10
4      for i in range(0, size):
5          count[(array[i] // place) % 10] += 1
6      for i in range(1, 10):
7          count[i] += count[i - 1]
8          i = size - 1
9      while i >= 0:
10         index = array[i] // place
11         output[count[index % 10] - 1] = array[i]
12         count[index % 10] -= 1
13         i -= 1
14     for i in range(0, size):
15         array[i] = output[i]
```

Листинг 3.4 – Алгоритм сортировки бинарным деревом

```
1 class BSTree:
2     def __init__(self):
3         self.root = None
4
5     def __str__(self):
6         rootStr = self.root.toString()[:-2]
7         return "[" + rootStr + "]"
8
9     def inorder(self):
10        if self.root is not None:
11            self.root.inorder()
12
13    def add(self, key):
14        new_node = BSTNode(key)
15        if self.root is None:
16            self.root = new_node
17        else:
18            self.root.insert(new_node)
19
20 def bstSort(data, n):
21     bstree = BSTree()
22     for x in data:
23         bstree.add(x)
24     return bstree
```

3.4 Функциональные тесты

В таблице 3.1 приведены тесты для функций, реализующих алгоритмы сортировки. Тесты для всех сортировок пройдены *успешно*.

Таблица 3.1 – Функциональные тесты

| Входной массив | Ожидаемый результат | Результат |
|-----------------|---------------------|-----------------|
| [1, 2, 3, 4, 5] | [1, 2, 3, 4, 5] | [1, 2, 3, 4, 5] |
| [5, 4, 3, 2, 1] | [1, 2, 3, 4, 5] | [1, 2, 3, 4, 5] |
| [9, 7, 5, 1, 4] | [1, 4, 5, 7, 9] | [1, 4, 5, 7, 9] |
| [5] | [5] | [5] |
| [] | [] | [] |

Вывод

Были разработаны схемы всех трех алгоритмов сортировки. Для каждого алгоритма была вычислена трудоёмкость и оценены лучший и худший случаи трудоёмкости.

4 Исследовательская часть

В данном разделе будут приведён пример работы программа, а также проведён сравнительный анализ алгоритмов при различных ситуациях на основе полученных данных.

4.1 Технические характеристики

Технические характеристики устройства, на котором выполнялись замеры времени работы реализации алгоритма статической раздачи информации, представлены далее:

- операционная система Mac OS Monterey Версия 12.5.1 (21G83) [7] x86_64;
- память 16 ГБ;
- четырёхъядерный процессор Intel Core i7 с тактовой частотой 2,7 ГГц [8].

При тестировании ноутбук был включен в сеть электропитания. Во время тестирования ноутбук был нагружен только встроенными приложениями окружения, а также системой тестирования.

4.2 Демонстрация работы программы

На рисунке 4.1 представлен результат работы программы.

```
Меню
1. Блинная сортировка
2. Пюразрядная сортировка
3. Сортировка бинарным деревом
4. Замер времени
0. Выход

Выбор: 2
Введите массив поэлементно в одной строке (окончание - Enter):
1 2 3 4 5 5 4 3 2 1
[1, 1, 2, 2, 3, 3, 4, 4, 5, 5]
Меню
1. Блинная сортировка
2. Пюразрядная сортировка
3. Сортировка бинарным деревом
4. Замер времени
0. Выход

Выбор: █
```

Рисунок 4.1 – Пример работы программы

4.3 Время выполнения реализаций алгоритмов

Как было сказано выше, используется функция замера процессорного времени `process_time(...)` из библиотеки `time` на Python. Функция возвращает пользовательское процессорное время типа `float`.

Использовать функцию приходится дважды, затем из конечного времени нужно вычесть начальное, чтобы получить результат.

Результаты замеров времени работы реализаций алгоритмов сортировки на различных входных данных (в мс) приведены в таблицах 4.1, 4.2 и 4.3.

Таблица 4.1 – Результаты замеров реализаций сортировок, входными данными являлись отсортированные по возрастанию значений массивы.

| Размер | Блинная | Поразрядная | Бинарным деревом |
|--------|---------|-------------|------------------|
| 100 | 0.1662 | 0.0714 | 0.8730 |
| 200 | 0.5113 | 0.2058 | 3.3267 |
| 300 | 1.1026 | 0.3131 | 7.6354 |
| 400 | 2.0140 | 0.4364 | 13.6751 |
| 500 | 3.3046 | 0.5591 | 21.5524 |
| 600 | 5.0567 | 0.6798 | 31.3052 |
| 700 | 6.6944 | 0.7852 | 43.0406 |
| 800 | 8.5163 | 0.8766 | 56.4318 |

Таблица 4.2 – Результаты замеров реализаций
сортировок, входными данными являлись
отсортированные по убыванию значений массивы.

| Размер | Блинная | Поразрядная | Бинарным деревом |
|--------|---------|-------------|------------------|
| 100 | 0.1606 | 0.1048 | 0.7138 |
| 200 | 0.5005 | 0.2008 | 2.7633 |
| 300 | 1.0747 | 0.3110 | 6.3060 |
| 400 | 1.9383 | 0.4312 | 11.3831 |
| 500 | 3.1148 | 0.5427 | 18.0577 |
| 600 | 4.6409 | 0.6693 | 26.0260 |
| 700 | 6.7969 | 0.8317 | 36.7397 |
| 800 | 8.7922 | 0.9583 | 47.2628 |

Таблица 4.3 – Результаты замеров реализаций
сортировок, входными данными являлись
заполненные числами со случайными значениями
массивы.

| Размер | Блинная | Поразрядная | Бинарным деревом |
|--------|---------|-------------|------------------|
| 100 | 0.2734 | 0.1043 | 0.1560 |
| 200 | 0.8321 | 0.2090 | 0.3756 |
| 300 | 1.6837 | 0.3142 | 0.6025 |
| 400 | 2.8938 | 0.4281 | 0.9785 |
| 500 | 4.4438 | 0.5419 | 1.1784 |
| 600 | 6.4153 | 0.6704 | 1.5523 |
| 700 | 8.6692 | 0.7678 | 1.9018 |
| 800 | 11.3752 | 0.8992 | 2.2986 |

Также на рисунках 4.2, 4.3, 4.4 приведены графические результаты замеров процессорного времени выполнения реализаций алгоритмов сортировок в зависимости от размера входного массива.

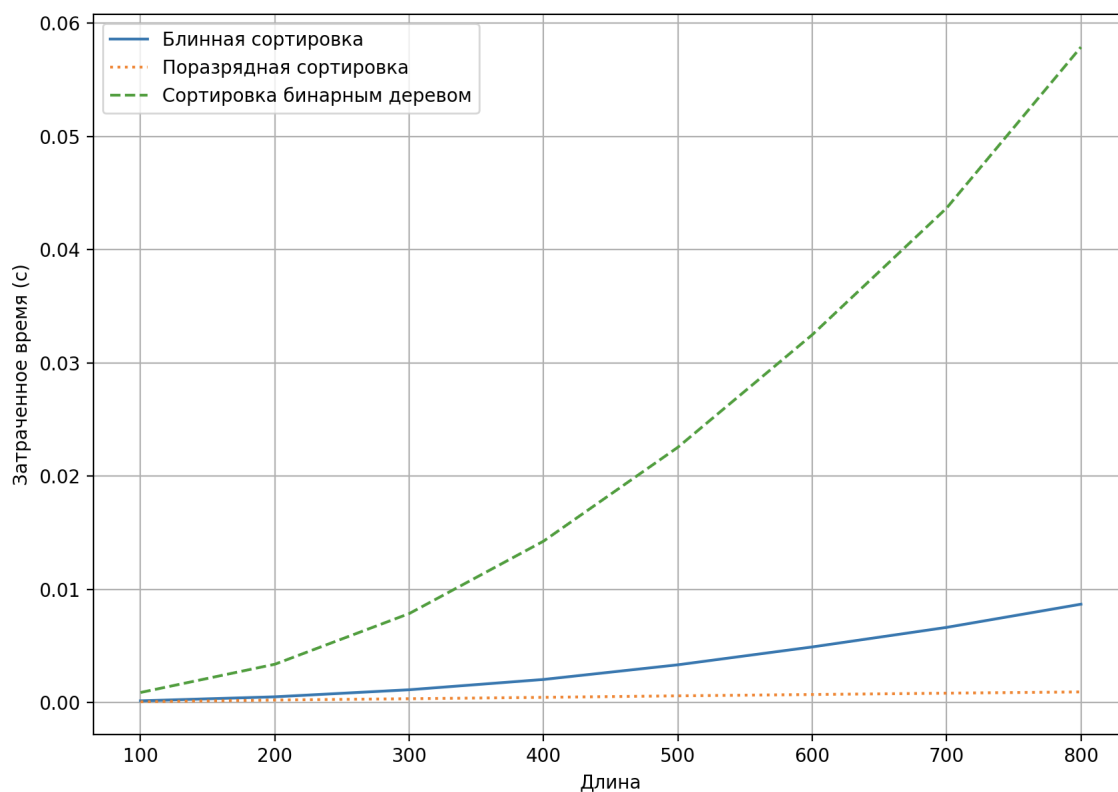


Рисунок 4.2 – Результаты замеров реализаций сортировок, входными данными являлись отсортированные по возрастанию значений массивы.

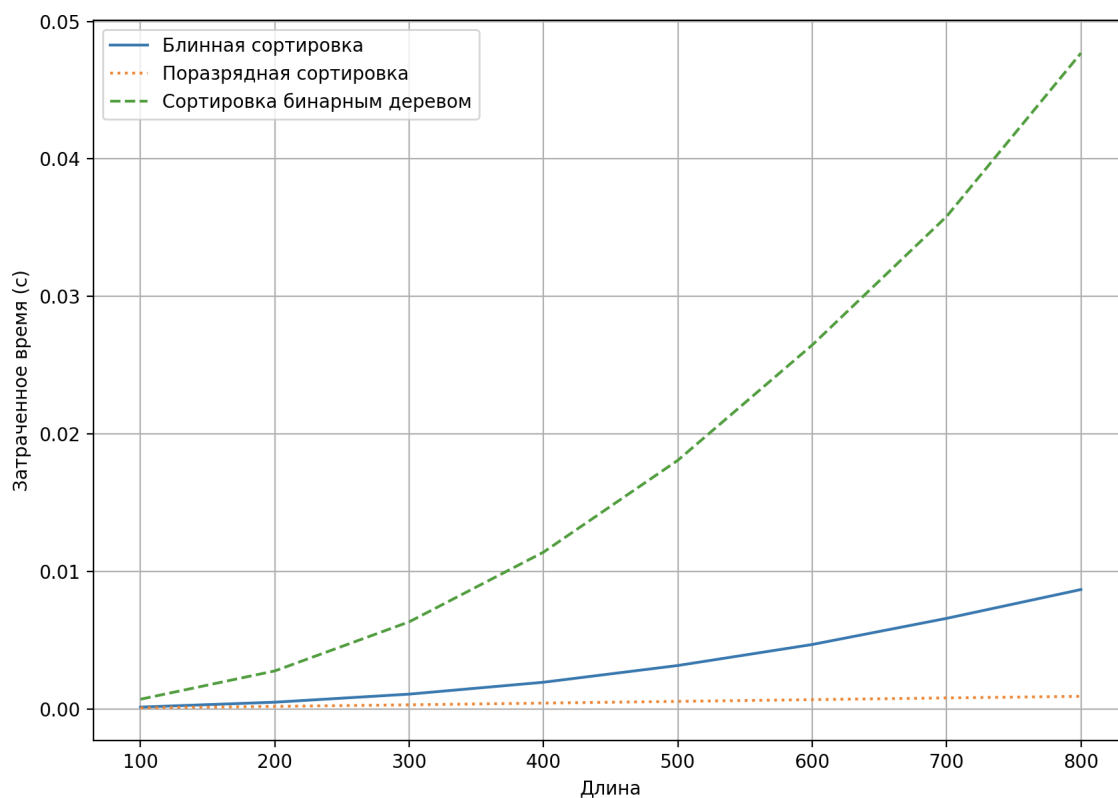


Рисунок 4.3 – Результаты замеров реализаций сортировок, входными данными являлись отсортированные по убыванию значений массивы.

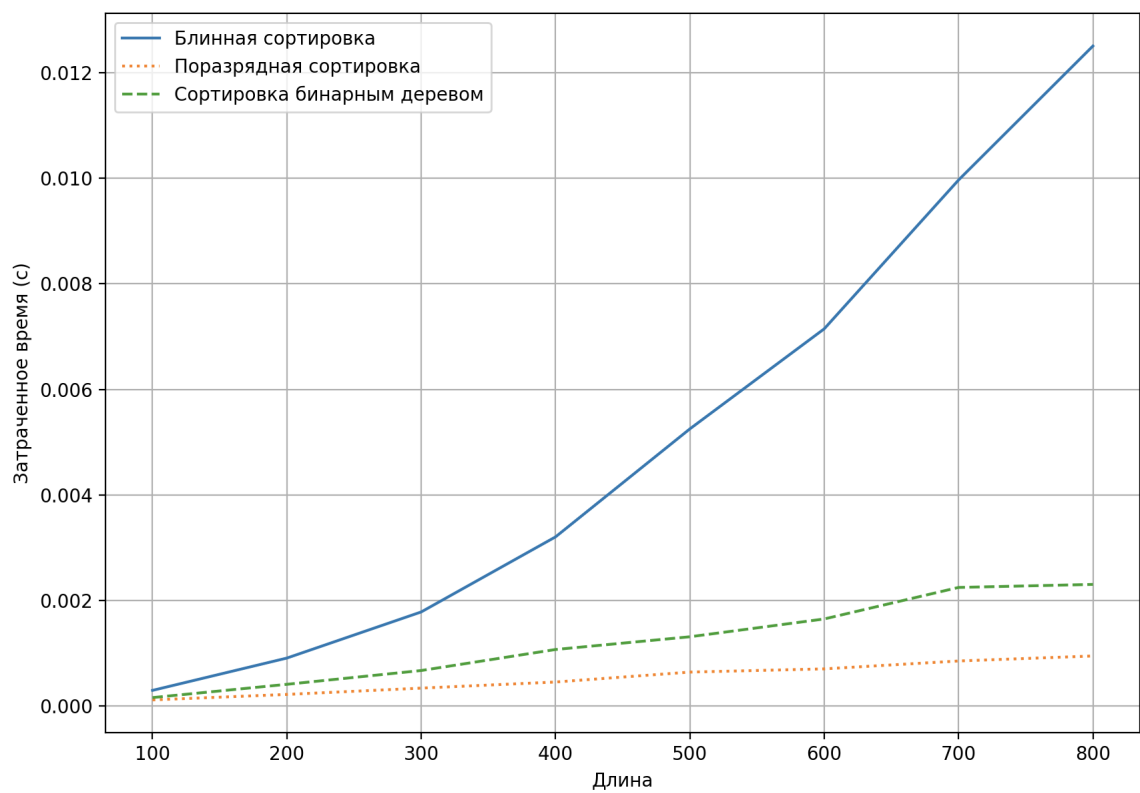


Рисунок 4.4 – Результаты замеров реализаций сортировок, входными данными являлись заполненные числами со случайными значениями массивы.

Сортировка бинарным деревом работает дольше других рассмотренных сортировок на отсортированных массивах (рисунки 4.2, 4.3), в то время как на случайно заполненном массиве дольше всех работает блинная сортировка (рисунок 4.4). Поразрядная сортировка во всех трёх случаях оказывается самой быстрой.

При этом для блинной сортировки и для сортировки бинарным деревом худшим случаем является подача на вход отсортированного в противоположном поставленному направлению массива, а лучшим – отсортированного в поставленном направлении. У поразрядной сортировки нет худших и лучших случаев нет.

Вывод

Исходя из полученных результатов, сортировка бинарным деревом на отсортированных массивах и блинная сортировка на случайном массиве работают дольше всех (на длине массива в 800 элементов примерно в 40 раз дольше, чем поразрядная сортировка), при этом поразрядная сортировка показала себя лучше всех на любых данных. Можно сделать вывод, что использование сортировки бинарным деревом показывает наилучший результат при случайных, никак не отсортированных данных, т.к. при отсортированных данных обычное бинарное дерево вырождается в связный список, из-за чего вырастает высота дерева. Поразрядная сортировка же эффективнее в том случае, когда заранее известно максимальное количество разрядов в сортируемых данных.

Теоретические результаты оценки трудоёмкости и полученные практическим образом результаты замеров совпадают.

Заключение

Была достигнута цель работы: изучены и исследованы трудоёмкости алгоритмов сортировок – блинной, поразрядной, бинарным деревом. Также в ходе выполнения лабораторной работы были решены следующие задачи:

- 1) были изучены и реализованы алгоритмы сортировки: блинная, поразрядная и бинарным деревом;
- 2) было измерено время работы реализаций алгоритмов выбранных сортировок;
- 3) были проведены сравнение и анализ трудоёмкостей алгоритмов на основе теоретических расчетов;
- 4) были проведены сравнение и анализ реализаций алгоритмов по затраченным процессорному времени и памяти;
- 5) был подготовлен отчёт о лабораторной работе, представленный как расчётно-пояснительная записка к работе.

Исходя из полученных результатов, сортировка бинарным деревом на отсортированных массивах и блинная сортировка на случайном массиве работают дольше всех (на длине массива в 800 элементов примерно в 40 раз дольше, чем поразрядная сортировка), при этом поразрядная сортировка показала себя лучше всех на любых данных. Можно сделать вывод, что использование сортировки бинарным деревом показывает наилучший результат при случайных, никак не отсортированных данных, т.к. при отсортированных данных обычное бинарное дерево вырождается в связный список, из-за чего вырастает высота дерева. Поразрядная сортировка же эффективнее в том случае, когда приблизительно известно максимальное количество разрядов в сортируемых данных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] William H. G. Bounds for sorting by prefix reversal. – Department of Electrical Engineering, University of California, BerkeleyNorth-Holland Publishhing Company, 1978. P. 47–57.
- [2] Левитин А. В. Алгоритмы: введение в разработку и анализ. – М.: Издательский дом “Вильямс“, - 576 с., 2006.
- [3] Акопов Р. Двоичные деревья поиска. – М.: Оптим, RSDN Magazine [Электронный ресурс], 2004. URL: Режим доступа: <http://rsdn.org/article/alg/binstree.xml> (дата обращения: 17.09.2022).
- [4] Ульянов М. В. Ресурсно-эффективные компьютерные алгоритмы. Разработка и анализ. – М. Наука, Физматлит, 2007. с. 376.
- [5] Welcome to Python [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.python.org> (дата обращения: 06.10.2022).
- [6] time — Time access and conversions [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.python.org/3/library/time.html#functions> (дата обращения: 04.10.2022).
- [7] macOS Monterey [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.apple.com/macos/monterey/> (дата обращения: 17.09.2022).
- [8] Процессор Intel® Core™ i7 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.intel.com/processors/core/i7/docs> (дата обращения: 17.09.2022).