



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 №1 по курсу "Анализ алгоритмов"

Тема Расстояние Левенштейна и Дамерау-Левенштейна

Студент Кононенко С.С.

Группа ИУ7-53Б

Оценка (баллы) _____

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

Оглавление

Введение	2
1 Аналитическая часть	4
1.1 Рекурсивный алгоритм нахождения расстояния Левенштейна	5
1.2 Матричный алгоритм нахождения расстояния Левенштейна	6
1.3 Рекурсивный алгоритм нахождения расстояния Левенштейна с заполнением матрицы	7
1.4 Расстояния Дамерау — Левенштейна	7
2 Конструкторская часть	9
2.1 Схема алгоритма Левенштейна	9
2.2 Схема алгоритма Дамерау — Левенштейна	9
3 Технологическая часть	14
3.1 Требования к ПО	14
3.2 Средства реализации	14
3.3 Листинг кода	14
4 Исследовательская часть	21
4.1 Пример работы	21
4.2 Технические характеристики	22
4.3 Время выполнения алгоритмов	22
4.4 Использование памяти	24
Заключение	26
Литература	27

Введение

Целью данной лабораторной работы является изучить и реализовать алгоритмы нахождения расстояний Левенштейна и Дамерау – Левенштейна.

Расстояние Левенштейна (редакционное расстояние, дистанция редактирования) — метрика, измеряющая разность между двумя последовательностями символов. Она определяется как минимальное количество односимвольных операций (а именно вставки, удаления, замены), необходимых для превращения одной последовательности символов в другую. В общем случае, операциям, используемым в этом преобразовании, можно назначить разные цены. Широко используется в теории информации и компьютерной лингвистике.

Впервые задачу поставил в 1965 году советский математик Владимир Левенштейн при изучении последовательностей 0–1, впоследствии более общую задачу для произвольного алфавита связали с его именем.

Расстояние Левенштейна и его обобщения активно применяются:

- 1) для исправления ошибок в слове (в поисковых системах, базах данных, при вводе текста, при автоматическом распознавании отсканированного текста или речи);
- 2) для сравнения текстовых файлов утилитой `diff` и её подобными (здесь роль «символов» играют строки, а роль «строк» — файлы);
- 3) в биоинформатике для сравнения генов, хромосом и белков.

Расстояние Дамерау — Левенштейна (названо в честь учёных Фредерика Дамерау и Владимира Левенштейна) — это мера разницы двух строк символов, определяемая как минимальное количество операций вставки, удаления, замены и транспозиции (перестановки двух соседних символов), необходимых для перевода одной строки в другую. Является модификацией расстояния Левенштейна: к операциям вставки, удаления и замены символов, определённых в расстоянии Левенштейна добавлена операция транспозиции (перестановки) символов.

Задачи лабораторной работы:

- Изучение алгоритмов Левенштейна и Дамерау–Левенштейна.
- Применение методов динамического программирования для реализации алгоритмов.
- Получение практических навыков реализации алгоритмов Левенштейна и Дамерау — Левенштейна.
- Сравнительный анализ алгоритмов на основе экспериментальных данных.
- Подготовка отчета по лабораторной работе.

1 Аналитическая часть

Расстояние Левенштейна [1] между двумя строками — это минимальное количество операций вставки, удаления и замены, необходимых для превращения одной строки в другую.

Цены операций могут зависеть от вида операции (вставка, удаление, замена) и/или от участвующих в ней символов, отражая разную вероятность разных ошибок при вводе текста, и т. п. В общем случае:

- $w(a, b)$ — цена замены символа a на символ b .
- $w(\lambda, b)$ — цена вставки символа b .
- $w(a, \lambda)$ — цена удаления символа a .

Для решения задачи о редакционном расстоянии необходимо найти последовательность замен, минимизирующую суммарную цену. Расстояние Левенштейна является частным случаем этой задачи при

- $w(a, a) = 0$.
- $w(a, b) = 1, a \neq b$.
- $w(\lambda, b) = 1$.
- $w(a, \lambda) = 1$.

1.1 Рекурсивный алгоритм нахождения расстояния Левенштейна

Расстояние Левенштейна между двумя строками a и b может быть вычислено по формуле 1.1, где $|a|$ означает длину строки a ; $a[i]$ — i -ый символ строки a , функция $D(i, j)$ определена как:

$$D(i, j) = \begin{cases} 0 & i = 0, j = 0 \\ i & j = 0, i > 0 \\ j & i = 0, j > 0 \\ \min\{ & , \quad (1.1) \\ D(i, j - 1) + 1 & \\ D(i - 1, j) + 1 & i > 0, j > 0 \\ D(i - 1, j - 1) + m(a[i], b[j]) & (1.2) \\ \} & \end{cases}$$

а функция 1.2 определена как:

$$m(a, b) = \begin{cases} 0 & \text{если } a = b, \\ 1 & \text{иначе} \end{cases} . \quad (1.2)$$

Рекурсивный алгоритм реализует формулу 1.1. Функция D составлена из следующих соображений:

- 1) для перевода из пустой строки в пустую требуется ноль операций;
- 2) для перевода из пустой строки в строку a требуется $|a|$ операций;
- 3) для перевода из строки a в пустую требуется $|a|$ операций;

Для перевода из строки a в строку b требуется выполнить последовательно некоторое количество операций (удаление, вставка, замена) в некоторой последовательности. Последовательность проведения любых двух операций можно поменять, порядок проведения операций не имеет

никакого значения. Полагая, что a', b' — строки a и b без последнего символа соответственно, цена преобразования из строки a в строку b может быть выражена как:

- 1) сумма цены преобразования строки a в b и цены проведения операции удаления, которая необходима для преобразования a' в a ;
- 2) сумма цены преобразования строки a в b и цены проведения операции вставки, которая необходима для преобразования b' в b ;
- 3) сумма цены преобразования из a' в b' и операции замены, предполагая, что a и b оканчиваются разные символы;
- 4) цена преобразования из a' в b' , предполагая, что a и b оканчиваются на один и тот же символ.

Минимальной ценой преобразования будет минимальное значение приведенных вариантов.

1.2 Матричный алгоритм нахождения расстояния Левенштейна

Прямая реализация формулы 1.1 может быть малоэффективна по времени исполнения при больших i, j , т. к. множество промежуточных значений $D(i, j)$ вычисляются заново множество раз подряд. Для оптимизации нахождения расстояния Левенштейна можно использовать матрицу в целях хранения соответствующих промежуточных значений. В таком случае алгоритм представляет собой построчное заполнение матрицы $A_{|a|, |b|}$ значениями $D(i, j)$.

1.3 Рекурсивный алгоритм нахождения расстояния Левенштейна с заполнением матрицы

Рекурсивный алгоритм заполнения можно оптимизировать по времени выполнения с использованием матричного алгоритма. Суть данного метода заключается в параллельном заполнении матрицы при выполнении рекурсии. В случае, если рекурсивный алгоритм выполняет прогон для данных, которые еще не были обработаны, результат нахождения расстояния заносится в матрицу. В случае, если обработанные ранее данные встречаются снова, для них расстояние не находится и алгоритм переходит к следующему шагу.

1.4 Расстояния Дамерау — Левенштейна

Расстояние Дамерау — Левенштейна может быть найдено по формуле 1.3, которая задана как

$$d_{a,b}(i,j) = \begin{cases} \max(i,j), & \text{если } \min(i,j) = 0, \\ \min\{ & \\ d_{a,b}(i,j-1) + 1, & \\ d_{a,b}(i-1,j) + 1, & \text{иначе} \\ d_{a,b}(i-1,j-1) + m(a[i], b[j]), & \\ \left[\begin{array}{ll} d_{a,b}(i-2,j-2) + 1, & \text{если } i,j > 1; \\ a[i] = b[j-1]; \\ b[j] = a[i-1] \end{array} \right. & \\ \infty, & \text{иначе} \\ \} & \end{cases}, \quad (1.3)$$

Формула выводится по тем же соображениям, что и формула (1.1).

Как и в случае с рекурсивным методом, прямое применение этой формулы неэффективно по времени исполнения, то аналогично методу из 1.3 производится добавление матрицы для хранения промежуточных значений рекурсивной формулы.

Вывод

Формулы Левенштейна и Дамерау — Левенштейна для расчета расстояния между строками задаются рекурсивно, а следовательно, алгоритмы могут быть реализованы рекурсивно или итерационно.

Пусть S_1 и S_2 — две строки (длиной M и N соответственно) над некоторым алфавитом, тогда расстояние Левенштейна $d(S_1, S_2)$ можно подсчитать по рекуррентной формуле $d(S_1, S_2) = D(M, N)$, где

$$D(i, j) = \begin{cases} 0, & i = 0, j = 0 \\ i, & i > 0, j = 0 \\ j, & i = 0, j > 0 \\ \min\{ & \\ & D(i, j - 1) + 1, \\ & D(i - 1, j) + 1, & i > 0, j > 0 \\ & D(i - 1, j - 1) + m(S_1[i], S_2[j]) \end{cases} \quad (1.4)$$

2 Конструкторская часть

2.1 Схема алгоритма Левенштейна

На рисунке 2.1 приведена схема рекурсивного алгоритма Левенштейна.

На рисунке 2.2 приведена схема рекурсивного алгоритма Левенштейна с заполнением матрицы.

На рисунке 2.3 приведена схема матричного алгоритма Левенштейна.

2.2 Схема алгоритма Дамерау — Левенштейна

На рисунке 2.4 приведена схема матричного алгоритма Дамерау — Левенштейна.

Вывод

На основе теоретических данных, полученных из аналитического раздела были построены схемы требуемых алгоритмов.

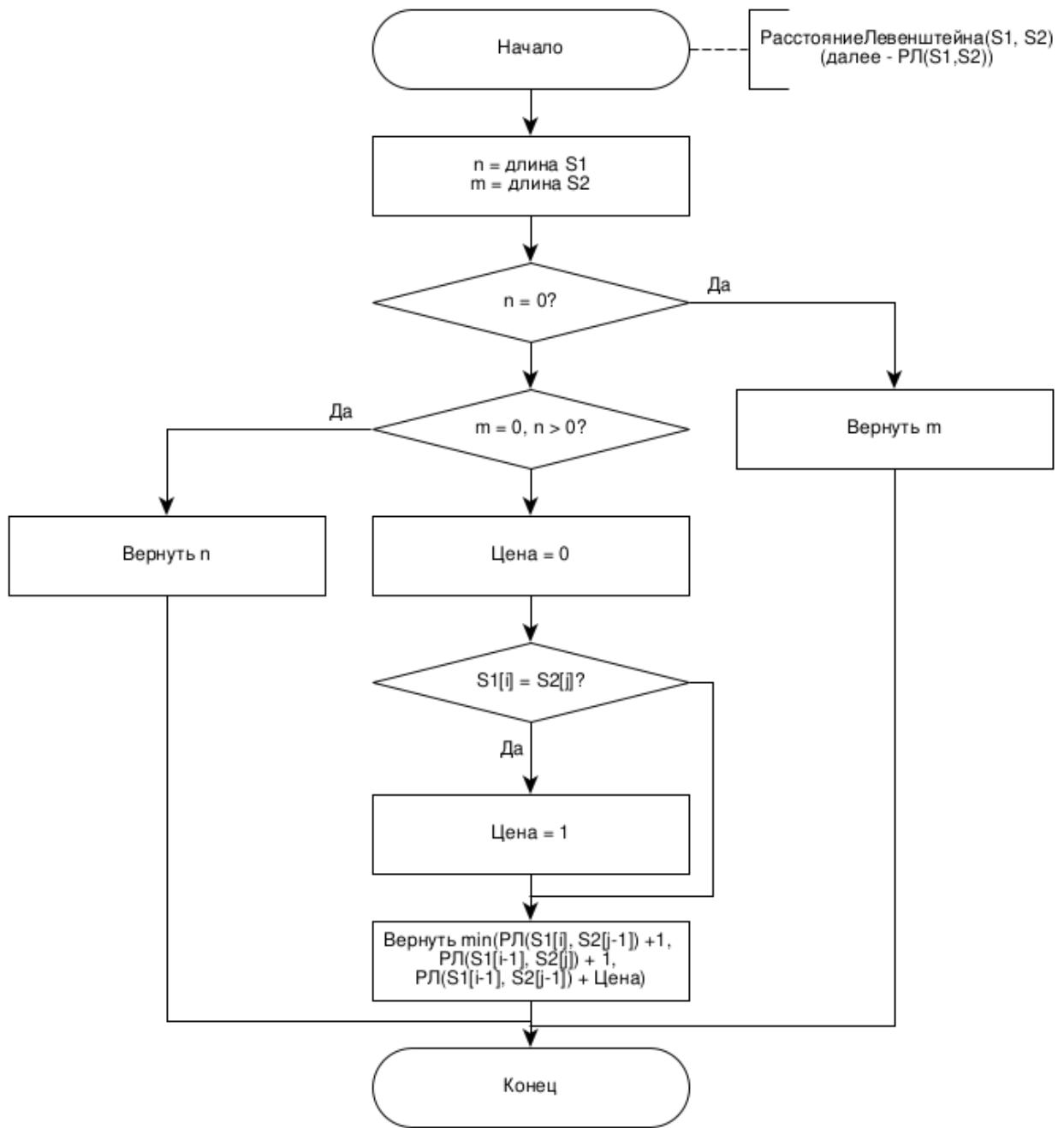


Рисунок 2.1 – Схема рекурсивного алгоритма Левенштейна

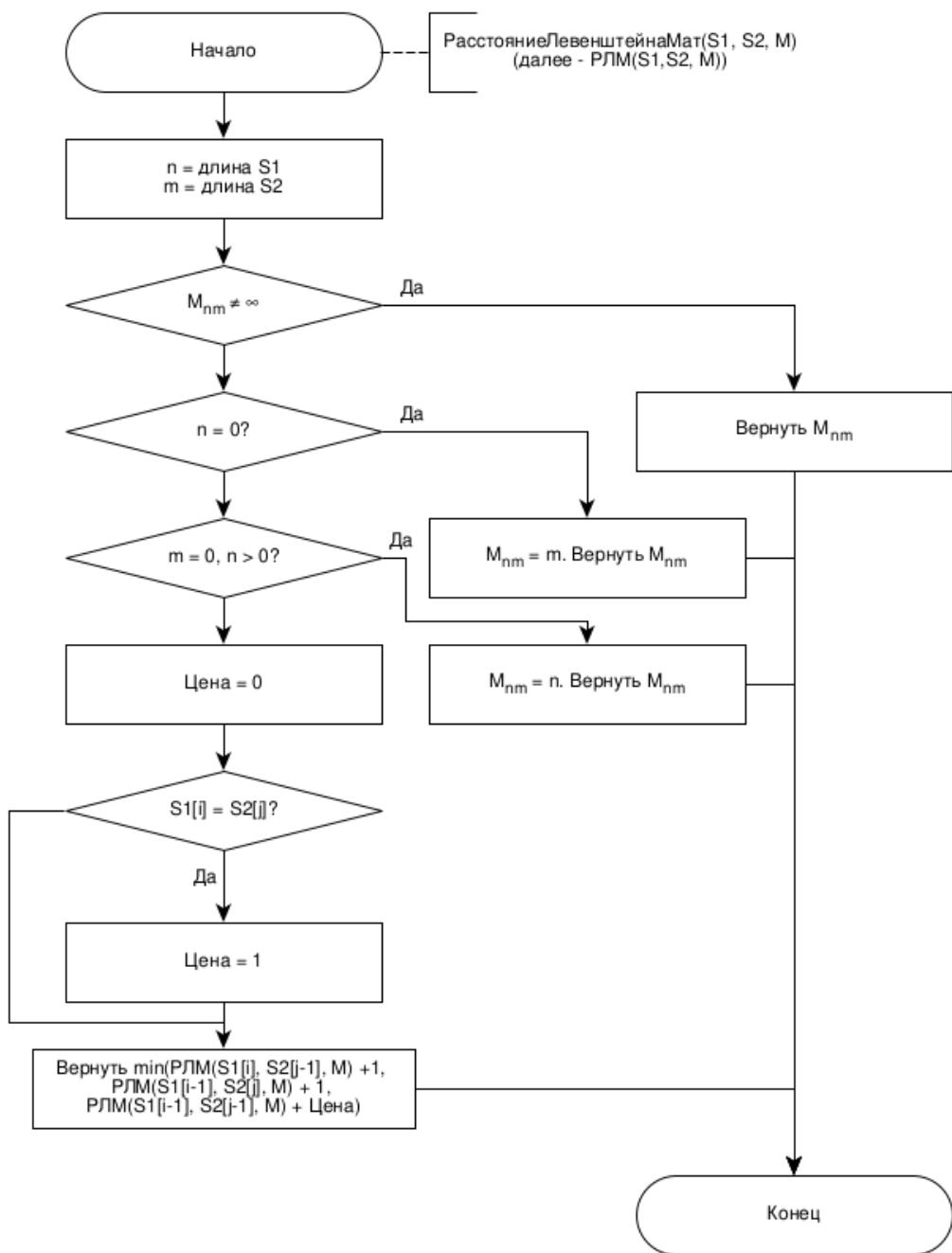


Рисунок 2.2 – Схема рекурсивного алгоритма Левенштейна с заполнением матрицы

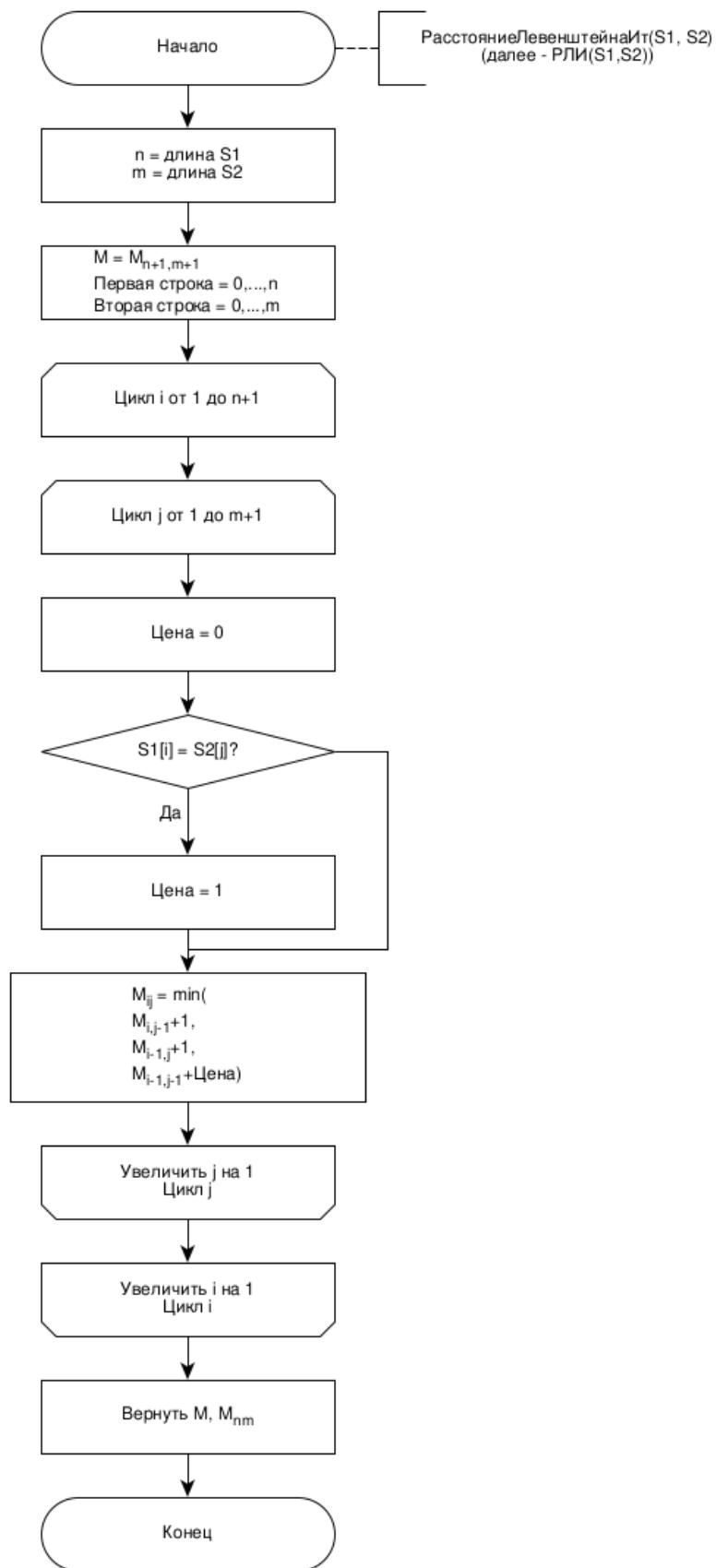


Рисунок 2.3 – Схема матричного алгоритма Левенштейна

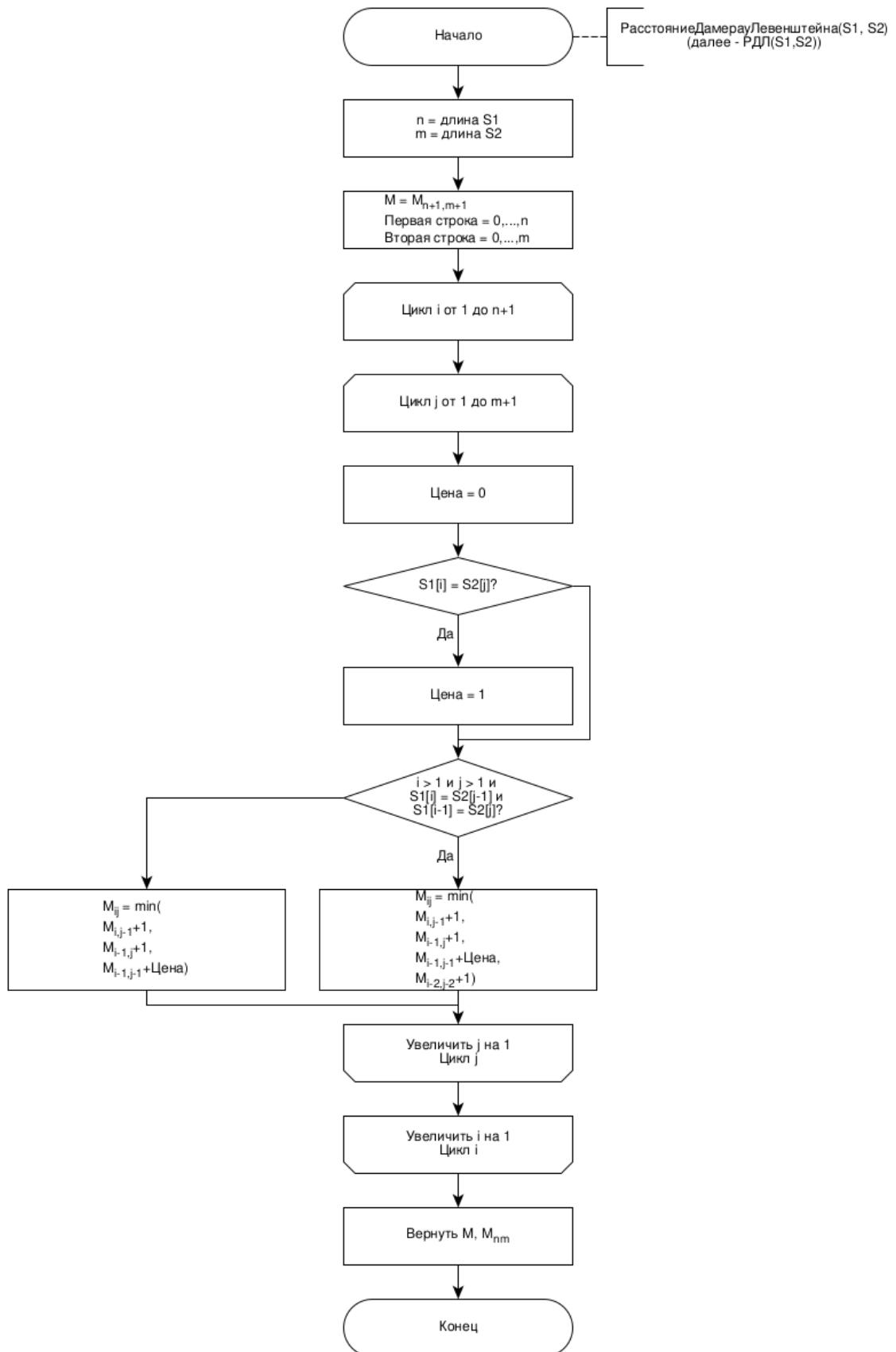


Рисунок 2.4 – Схема алгоритма Дамерау – Левенштейна

3 Технологическая часть

В данном разделе приведены требования к программному обеспечению, средства реализации и листинги кода.

3.1 Требования к ПО

К программе предъявляется ряд требований:

- на вход подаётся две строки в любой раскладке;
- на выходе — искомое расстояние для всех четырех методов и матрицы расстояний для всех методов, за исключением рекурсивного.

3.2 Средства реализации

В качестве языка программирования для реализации данной лабораторной работы был выбран многопоточный язык Golang [2]. Данный выбор обусловлен моим желанием расширить свои знания в области применения данного языка. Помимо этого, встроенные средства языка предоставляют высокоточные средства тестирования разработанного ПО.

3.3 Листинг кода

В листингах 3.1–3.3 приведены реализации алгоритмов Левенштейна и Дамерау — Левенштейна, а также вспомогательные функции.

Листинг 3.1 – Функции реализации алгоритмов Левенштейна и Дамерау — Левенштейна

```
1 package levenshtein
2
3 import "math"
4
5 // Recursive used to find Levenshtein distance with recursive method.
6 func Recursive(fWord, sWord string) int {
7     fWordRune, sWordRune := []rune(fWord), []rune(sWord)
```

```

8      n, m := len(fWordRune), len(sWordRune)
9
10     return getDistance(fWordRune, sWordRune, n, m)
11 }
12
13
14 // RecursiveMatrix used to find Levenshtein distance with recursive method
15 // and matrix filling.
15 func RecursiveMatrix(fWord, sWord string) (int, MInt) {
16     var (
17         n, m, shDist int
18     )
19
20     fWordRune, sWordRune := []rune(fWord), []rune(sWord)
21
22     n, m = len(fWordRune), len(sWordRune)
23
24     distMat := makeMatrixRec(n, m)
25
26     getDistanceRec(fWordRune, sWordRune, n, m, distMat)
27
28     shDist = distMat[n][m]
29
30     return shDist, distMat
31 }
32
33 // IterativeMatrix used to find Levenshtein distance with matrix filling.
34 func IterativeMatrix(fWord, sWord string) (int, MInt) {
35     var (
36         n, m, dist, shDist int
37     )
38
39     fWordRune, sWordRune := []rune(fWord), []rune(sWord)
40
41     n, m = len(fWordRune), len(sWordRune)
42
43     distMat := makeMatrix(n, m)
44
45     for i := 1; i < n+1; i++ {
46         for j := 1; j < m+1; j++ {
47             insDist := distMat[i][j-1] + 1
48             delDist := distMat[i-1][j] + 1
49             eq := 1
50             if fWordRune[i-1] == sWordRune[j-1] {
51                 eq = 0
52             }
53             eqDist := distMat[i-1][j-1] + eq
54         }
55     }
56 }
```

```

55     dist = minFromThree(insDist, delDist, eqDist)
56     distMat[i][j] = dist
57   }
58 }
59
60 shDist = distMat[n][m]
61
62 return shDist, distMat
63 }
64
65 // DamerauLevenshtein used to find Damerau-Levenshtein distance.
66 func DamerauLevenshtein(fWord, sWord string) (int, MInt) {
67   var (
68     n, m, dist, shDist, transDist int
69   )
70
71   fWordRune, sWordRune := []rune(fWord), []rune(sWord)
72
73   n, m = len(fWordRune), len(sWordRune)
74
75   distMat := makeMatrix(n, m)
76
77   for i := 1; i < n+1; i++ {
78     for j := 1; j < m+1; j++ {
79       insDist := distMat[i][j-1] + 1
80       delDist := distMat[i-1][j] + 1
81       eq := 1
82       if fWordRune[i-1] == sWordRune[j-1] {
83         eq = 0
84       }
85       eqDist := distMat[i-1][j-1] + eq
86       transDist = -1
87       if i > 1 && j > 1 {
88         transDist = distMat[i-2][j-2] + 1
89       }
90
91       if transDist != -1 && fWordRune[i-1] == sWordRune[j-2] &&
92           fWordRune[i-2] == sWordRune[j-1] {
93         dist = minFromFour(insDist, delDist, eqDist, transDist)
94       } else {
95         dist = minFromThree(insDist, delDist, eqDist)
96       }
97       distMat[i][j] = dist
98     }
99   }
100
101 shDist = distMat[n][m]

```

```

102     return shDist, distMat
103 }
104
105 func getDistanceRec(fWord, sWord []rune, i, j int, mat MInt) int {
106     if mat[i][j] != math.MaxInt16 {
107         return mat[i][j]
108     }
109
110     if i == 0 {
111         mat[i][j] = j
112         return mat[i][j]
113     }
114     if j == 0 && i > 0 {
115         mat[i][j] = i
116         return mat[i][j]
117     }
118     eq := 1
119     if fWord[i-1] == sWord[j-1] {
120         eq = 0
121     }
122
123     mat[i][j] = minFromThree(
124         getDistanceRec(fWord, sWord, i, j-1, mat)+1,
125         getDistanceRec(fWord, sWord, i-1, j, mat)+1,
126         getDistanceRec(fWord, sWord, i-1, j-1, mat)+eq)
127     return mat[i][j]
128 }
129
130 func makeMatrixRec(n, m int) MInt {
131     mat := make(MInt, n+1)
132     for i := range mat {
133         mat[i] = make([]int, m+1)
134     }
135
136     for i := 0; i < n+1; i++ {
137         for j := 0; j < m+1; j++ {
138             mat[i][j] = math.MaxInt16
139         }
140     }
141
142     return mat
143 }
144
145 func getDistance(fWord, sWord []rune, i, j int) int {
146     if i == 0 {
147         return j
148     }
149     if j == 0 && i > 0 {

```

```

150         return i
151     }
152     eq := 1
153     if fWord[i-1] == sWord[j-1] {
154         eq = 0
155     }
156
157     return minFromThree(
158         getDistance(fWord, sWord, i, j-1)+1,
159         getDistance(fWord, sWord, i-1, j)+1,
160         getDistance(fWord, sWord, i-1, j-1)+eq)
161 }
162
163 func makeMatrix(n, m int) MInt {
164     mat := make(MInt, n+1)
165     for i := range mat {
166         mat[i] = make([]int, m+1)
167     }
168
169     for i := 0; i < m+1; i++ {
170         mat[0][i] = i
171     }
172
173     for i := 0; i < n+1; i++ {
174         mat[i][0] = i
175     }
176
177     return mat
178 }
179
180 func minFromFour(a, b, c, d int) int {
181     min := a
182
183     if b < min {
184         min = b
185     }
186
187     if c < min {
188         min = c
189     }
190
191     if d < min {
192         min = d
193     }
194
195     return min
196 }
197

```

```

198 func minFromThree(a, b, c int) int {
199     min := a
200
201     if b < min {
202         min = b
203     }
204
205     if c < min {
206         min = c
207     }
208
209     return min
210 }
```

Листинг 3.2 – Пользовательские типы данных

```

1 package levenshtein
2
3 import "fmt"
4
5 // MInt used to represent int64 matrix
6 type MInt [][]int
7
8 // PrintMatrix used to pretty print matrix.
9 func (mat MInt) PrintMatrix() {
10    for i := 0; i < len(mat); i++ {
11        for j := 0; j < len(mat[0]); j++ {
12            fmt.Printf("%3d ", mat[i][j])
13        }
14        fmt.Printf("\n")
15    }
16 }
```

Листинг 3.3 – Дополнительные утилиты

```

1 package levenshtein
2
3 import "fmt"
4
5 // ReadWord used to read a word through EOL symbol.
6 func ReadWord() string {
7    var word string
8    fmt.Scanln(&word)
9
10   return word
11 }
```

В таблице 3.1 приведены функциональные тесты для алгоритмов вычисления расстояния Левенштейна и Дамерау — Левенштейна. Все тесты пройдены успешно.

Таблица 3.1 – Функциональные тесты

Строка 1	Строка 2	Ожидаемый результат	
		Левенштейн	Дамерау — Левенштейн
cook	cooker	2	2
mother	money	3	3
woman	water	4	4
program	friend	6	6
house	girl	5	5
probelm	problem	2	1
head	ehda	3	2
bring	brought	4	4
happy	happy	0	0
minute	moment	5	5
person	eye	5	5
week	weeks	1	1
member	morning	6	6
death	health	2	2
education	question	4	4
room	moor	2	2
car	city	3	3
air	area	3	3

Вывод

Были разработаны и протестированы спроектированные алгоритмы: вычисления расстояния Левенштейна рекурсивно, с заполнением матрицы и рекурсивно с заполнением матрицы, а также вычисления расстояния Дамерау — Левенштейна с заполнением матрицы.

4 Исследовательская часть

4.1 Пример работы

Демонстрация работы программы приведена на рисунке 4.1.

```
~/bmstu/labs/aa-5th-sem-labs/lab_01/src > master |2 ?1 > ./app.exe
Расстояние Левенштейна

Введите первое слово: сито
Введите второе слово: столб

Рекурсивный метод без заполнения матрицы:
Расстояние: 3

Рекурсивный метод с заполнением матрицы:
0 1 2 3 4 5
1 0 1 2 3 4
2 1 1 2 3 4
3 2 1 2 3 4
4 3 2 1 2 3
Расстояние: 3

Итеративный метод с заполнением матрицы:
0 1 2 3 4 5
1 0 1 2 3 4
2 1 1 2 3 4
3 2 1 2 3 4
4 3 2 1 2 3
Расстояние: 3

Метод Дамерау - Левенштейна:
0 1 2 3 4 5
1 0 1 2 3 4
2 1 1 2 3 4
3 2 1 2 3 4
4 3 2 1 2 3
Расстояние: 3
```

Рисунок 4.1 – Демонстрация работы алгоритмов нахождения расстояния Левенштейна и Дамерау – Левенштейна

4.2 Технические характеристики

Технические характеристики устройства, на котором выполнялось тестирование:

- Операционная система: Manjaro [3] Linux [4] 20.1 64-bit.
- Память: 16 GiB.
- Процессор: AMD Ryzen™ 7 3700U [5] CPU @ 2.30GHz

Тестирование проводилось на ноутбуке, включенном в сеть электропитания. Во время тестирования ноутбук был нагружен только встроенными приложениями окружения рабочего стола, окружением рабочего стола, а также непосредственно системой тестирования.

4.3 Время выполнения алгоритмов

Алгоритмы тестировались при помощи написания «бенчмарков» [6], предоставляемых встроенным в Go средствами. Для такого рода тестирования не нужно самостоятельно указывать количество повторов. В библиотеке для тестирования существует константа N , которая динамически варьируется в зависимости от того, был ли получен стабильный результат или нет.

В листинге 4.1 пример реализации бенчмарка.

Листинг 4.1 – Реализация бенчмарка

```
1 package levenshtein
2
3 import (
4     "testing"
5 )
6
7 // Recursive method benchmarks.
8
9 func BenchmarkRecursiveLen5(b *testing.B) {
10     fWord := "about"
11     sWord := "above"
12 }
```

```

13     for i := 0; i < b.N; i++ {
14         Recursive(fWord, sWord)
15     }
16 }
```

Результаты замеров приведены в таблице 4.1. В данной таблице для значений, для которых тестирование не выполнялось, в поле результата находится NaN. На рисунках 4.2 и 4.3 приведены графики зависимостей времени работы алгоритмов от длины строк.

Таблица 4.1 – Замер времени для строк, размером от 5 до 200

Длина строк	Время, нс			
	Rec	RecMat	ItMat	DL
5	16486	NaN	NaN	NaN
10	79380187	6616	2104	2532
15	300320151997	NaN	NaN	NaN
20	NaN	23761	6649	7952
30	NaN	50696	13700	16482
50	NaN	134389	36555	42789
100	NaN	562996	139671	164096
200	NaN	2245510	550606	645347

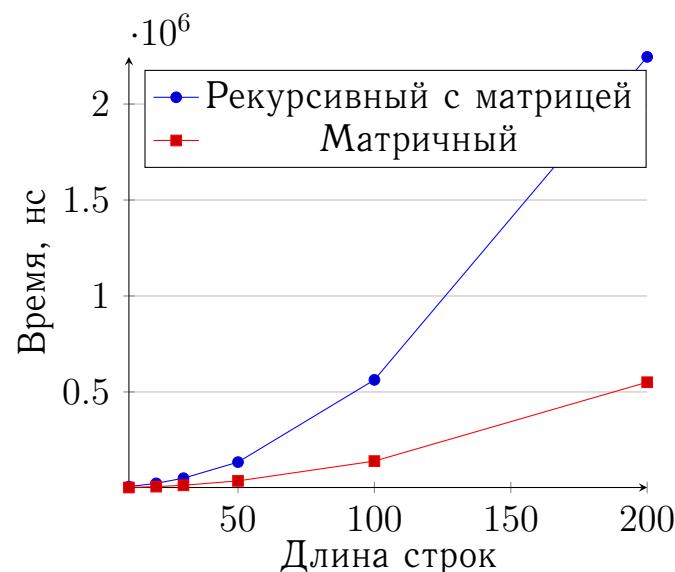


Рисунок 4.2 – Зависимость времени работы алгоритма вычисления расстояния Левенштейна от длины строк (рекурсивная с заполнением матрицы и матричная реализации)

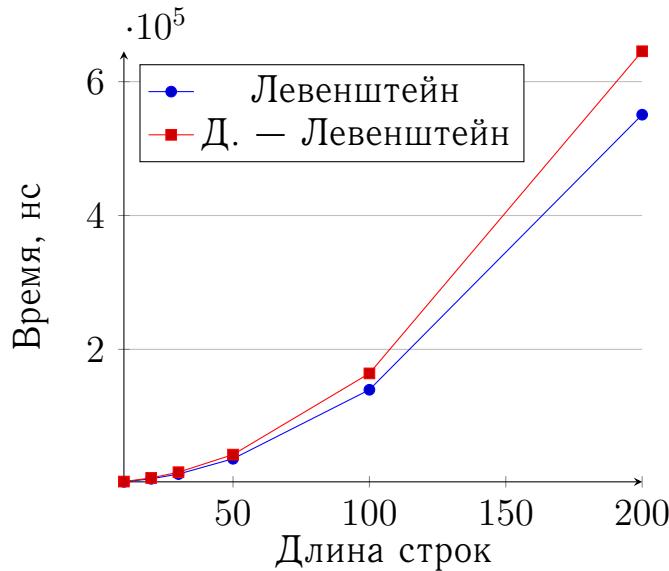


Рисунок 4.3 – Зависимость времени работы матричных реализаций алгоритмов Левенштейна и Дамерау — Левенштейна

4.4 Использование памяти

Алгоритмы Левенштейна и Дамерау — Левенштейна не отличаются друг от друга с точки зрения использования памяти, следовательно, достаточно рассмотреть лишь разницу рекурсивной и матричной реализаций этих алгоритмов.

Максимальная глубина стека вызовов при рекурсивной реализации равна сумме длин входящих строк, соответственно, максимальный расход памяти (4.1)

$$(\mathcal{C}(S_1) + \mathcal{C}(S_2)) \cdot (2 \cdot \mathcal{C}(\text{string}) + 3 \cdot \mathcal{C}(\text{int})), \quad (4.1)$$

где \mathcal{C} — оператор вычисления размера, S_1, S_2 — строки, int — целочисленный тип, string — строковый тип.

Использование памяти при итеративной реализации теоретически равно

$$(\mathcal{C}(S_1) + 1) \cdot (\mathcal{C}(S_2) + 1) \cdot \mathcal{C}(\text{int}) + 10 \cdot \mathcal{C}(\text{int}) + 2 \cdot \mathcal{C}(\text{string}). \quad (4.2)$$

Выделение памяти при работе алгоритмов указано на рисунке 4.4.

goos: linux				
goarch: amd64				
BenchmarkRecursiveLen5-8	74931	16486 ns/op	0 B/op	0 allocs/op
BenchmarkRecursiveLen10-8	15	79380187 ns/op	0 B/op	0 allocs/op
BenchmarkRecursiveLen15-8	1	300320151997 ns/op	0 B/op	0 allocs/op
BenchmarkRecursiveMatrixLen10-8	217200	6616 ns/op	1344 B/op	12 allocs/op
BenchmarkRecursiveMatrixLen20-8	51372	23761 ns/op	4208 B/op	22 allocs/op
BenchmarkRecursiveMatrixLen30-8	23226	50696 ns/op	8704 B/op	32 allocs/op
BenchmarkRecursiveMatrixLen50-8	8068	134389 ns/op	22496 B/op	52 allocs/op
BenchmarkRecursiveMatrixLen100-8	2751	562996 ns/op	93184 B/op	102 allocs/op
BenchmarkRecursiveMatrixLen200-8	546	2245510 ns/op	365056 B/op	202 allocs/op
BenchmarkIterativeMatrixLen10-8	519661	2104 ns/op	1344 B/op	12 allocs/op
BenchmarkIterativeMatrixLen20-8	175412	6649 ns/op	4208 B/op	22 allocs/op
BenchmarkIterativeMatrixLen30-8	90842	13700 ns/op	8704 B/op	32 allocs/op
BenchmarkIterativeMatrixLen50-8	33046	36555 ns/op	22496 B/op	52 allocs/op
BenchmarkIterativeMatrixLen100-8	9694	139671 ns/op	93184 B/op	102 allocs/op
BenchmarkIterativeMatrixLen200-8	2406	550606 ns/op	365056 B/op	202 allocs/op
BenchmarkDamerauLevenshteinLen10-8	475970	2532 ns/op	1344 B/op	12 allocs/op
BenchmarkDamerauLevenshteinLen20-8	155408	7952 ns/op	4208 B/op	22 allocs/op
BenchmarkDamerauLevenshteinLen30-8	69918	16482 ns/op	8704 B/op	32 allocs/op
BenchmarkDamerauLevenshteinLen50-8	27050	42789 ns/op	22496 B/op	52 allocs/op
BenchmarkDamerauLevenshteinLen100-8	7365	164096 ns/op	93184 B/op	102 allocs/op
BenchmarkDamerauLevenshteinLen200-8	1788	645347 ns/op	365056 B/op	202 allocs/op
PASS				
ok	./home/hackfeed/bmstu/labs/aa-5th-sem-labs/lab_01/src/levenshtein	328.518s		

Рисунок 4.4 – Замеры производительности алгоритмов, выполненные при помощи команды `go test -bench . -benchmem`

Вывод

Рекурсивный алгоритм Левенштейна работает на порядок дольше итеративных реализаций, время его работы увеличивается в геометрической прогрессии. На словах длиной 10 символов, матричная реализация алгоритма Левенштейна превосходит по времени работы рекурсивную в 37000 раз. Рекурсивный алгоритм с заполнением матрицы превосходит простой рекурсивный на аналогичных данных в 12000 раз. Алгоритм Дамерау — Левенштейна по времени выполнения сопоставим с алгоритмом Левенштейна. В нём добавлены дополнительные проверки, и по сути он является алгоритмом другого смыслового уровня.

Но по расходу памяти итеративные алгоритмы проигрывают рекурсивному: максимальный размер используемой памяти в них растёт как произведение длин строк, в то время как у рекурсивного алгоритма — как сумма длин строк.

Заключение

В ходе выполнения работы были выполнены все поставленные задачи и изучены методы динамического программирования на основе алгоритмов вычисления расстояния Левенштейна.

Экспериментально были установлены различия в производительности различных алгоритмов вычисления расстояния Левенштейна. Для слов длины 10 рекурсивный алгоритм Левенштейна работает на несколько порядков медленнее (37000 раз) матричной реализации. Рекурсивный алгоритм с параллельным заполнением матрицы работает быстрее простого рекурсивного, но все еще медленнее матричного (12000 раз). Если длина сравниваемых строк превышает 10, рекурсивный алгоритм становится неприемлимым для использования по времени выполнения программы. Матричная реализация алгоритма Дамерау — Левенштейна сопоставимо с алгоритмом Левенштейна. В ней добавлены дополнительные проверки, но, эти алгоритмы находятся в разном поле использования.

Теоретически было рассчитано использования памяти в каждом из алгоритмов вычисления расстояния Левенштейна. Обычные матричные алгоритмы потребляют намного больше памяти, чем рекурсивные, за счет дополнительного выделения памяти под матрицы и большее количество локальных переменных.

Литература

- [1] Левенштейн В. И. Двоичные коды с исправлением выпадений, вставок и замещений символов. – М.: Доклады АН СССР, 1965. Т. 163. С. 845–848.
- [2] The Go Programming Language [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://golang.org/> (дата обращения: 11.09.2020).
- [3] Manjaro – enjoy the simplicity [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://manjaro.org/> (дата обращения: 14.09.2020).
- [4] Linux – Википедия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Linux> (дата обращения: 14.09.2020).
- [5] Мобильный процессор AMD RyzenTM 7 3700U с графикой RadeonTM RX Vega 10 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.amd.com/ru/products/apu/amd-ryzen-7-3700u> (дата обращения: 14.09.2020).
- [6] testing – The Go Programming Language [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://golang.org/pkg/testing/> (дата обращения: 12.09.2020).