**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Санкт-Петербургский государственный**

**электротехнический университет**

**«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)**

**Кафедра МО ЭВМ**

отчет

**по лабораторной работе №5**

**по дисциплине «Построение и анализ алгоритмов»**

Тема: Алгоритм Ахо-Корасика

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Студент гр. 9382 |  | Русинов Д.А. |
| Преподаватель |  | Фирсов М.А. |

Санкт-Петербург

2021

## Цель работы.

Разработать программу, занимающуюся поиском шаблонов в строке, используя алгоритм Ахо-Корасика. Также разработать программу, которая ищет шаблон в строке, который содержит джокера.

**Задание 1**

Разработайте программу, решающую задачу точного поиска набора образцов.

**Вход:**  
Первая строка содержит текст (*T*,1 ≤ ∣*T*∣ ≤ 100000 ).  
Вторая - число *n* (1 ≤ *n* ≤ 3000), каждая следующая из *n* строк содержит шаблон из набора *P*={ *p*1 ​,…, *pn*​​}1 ≤ ∣*pi*​∣ ≤ 75  
Все строки содержат символы из алфавита {*A*, *C*, *G*, *T*, *N*}  
**Выход:**  
Все вхождения образцов из *P* в *T*.  
Каждое вхождение образца в текст представить в виде двух чисел - *i*  *p*  
Где *i* - позиция в тексте (нумерация начинается с 1), с которой начинается вхождение образца с номером *p*  
(нумерация образцов начинается с 1).  
Строки выхода должны быть отсортированы по возрастанию, сначала номера позиции, затем номера шаблона.

**Sample Input:**

NTAG

3

TAGT

TAG

T

**Sample Output:**

2 2

2 3

**Задание 2**

Используя реализацию точного множественного поиска, решите задачу точного поиска для одного образца с *джокером*.  
  
В шаблоне встречается специальный символ, именуемый джокером (wild card), который "совпадает" с любым символом. По заданному содержащему шаблоны образцу P*P* необходимо найти все вхождения Р в текст Т.  
  
Например, образец а*b*??с? с джокером ? встречается дважды в тексте *xabvccbababcax*.  
  
Символ джокер не входит в алфавит, символы которого используются в *T*. Каждый джокер соответствует одному символу, а не подстроке неопределённой длины. В шаблон входит хотя бы один символ не джокер, т.е. шаблоны вида ??? недопустимы.  
Все строки содержат символы из алфавита{*A*,*C*,*G*,*T*,*N*}  
  
**Вход:**  
Текст (*T*,1 ≤ ∣*T*∣ ≤ 100000 )  
Шаблон (*P*,1 ≤ ∣*P*∣ ≤ 40)  
Символ джокера  
**Выход:**  
Строки с номерами позиций вхождений шаблона (каждая строка содержит только один номер).  
Номера должны выводиться в порядке возрастания.

**Sample Input:**

ACTANCA

A$$A$

$

**Sample Output:**

1

**Индивидуальное задание**

Вариант 2. Подсчитать количество вершин в автомате; вывести список найденных образцов, имеющих пересечения с другими найденными образцами в строке поиска.

**Описание алгоритма**

Первоначально необходимо построить бор из шаблонов, которые были даны на вход. Шаблон в боре представляется в виде узлов, которые имеют уникальный числовой идентификатор. Считываются поочередно символы шаблона, создается узел, до которого можно добраться по считанному символу, узел добавляется в бор. Добавление в бор узлов для шаблона начинается с корня, затем новые узлы могут прикрепляться к ранее добавленным узлам. Так, если по символу ‘a’ от корня в боре уже есть узел, тогда создавать еще один такой узел нет нужды. Узел, который пришелся на конечный символ шаблона, является терминальным.

После построения бора начинается работа алгоритма. Поочередно считываются символы данного на вход текста, по ним выполняется переход в боре. Если из текущего узла есть ребро с рассматриваемым символом до следующего узла, то выполняется переход по этому ребру. Если текущий узел корневой и нет ребра с рассматриваемым символом, то переход будет выполнен в корневой узел. В ином случае вычисляется суффиксальная ссылка текущего узла, а уже от нее выполняется переход по рассматриваемому символу. Суффиксальная ссылка – указатель на узел, что символы, начиная с корня, до этого узла образуют максимальный собственный суффикс слова, образованного от текущего узла.

Суффиксальная ссылка вычисляется переходом по суффиксальной ссылке узла родителя по символу, который ведет к текущему узлу. Если текущий узел находится первым после корня или же узел является корнем, то суффиксальная ссылка указывается на корень. Суффиксальная ссылка вычисляется рекурсивно, основываясь на суффиксальных ссылках родителей, поэтому она будет вычисляться до тех пор, пока не дойдет до корня, либо же не будет выполнен успешный переход.

После осуществления перехода, проверяется узел, является ли он терминальным. Если он терминальный, значит было найдено вхождение образца в текст. После этого необходимо вычислить хорошие суффиксальные ссылки от этого узла. Хорошая суффиксальная ссылка – это суффиксальная ссылка, которая указывает на терминальный узел. Хорошая суффиксальная ссылка вычисляется до тех пор, пока узел не станет корневым. При нахождении образца в тексте, все его слова, построенные от корня до узла, на который указывает хорошая суффиксальная ссылка, также будут входить в текст. Хорошая суффиксальная ссылка необходима, чтобы в дальнейшем избежать лишних скачков при нахождении образца вновь.

Во второй программе используется шаблон, в котором могут присутствовать джокеры – символ, который является любым символом из алфавита. В этом случае строится бор с алфавитом, в котором присутствует символ джокера. При осуществлении перехода по рассматриваемому символу, если от текущего узла есть ребро с джокером, то переход выполняется по джокеру. При этом рассматриваемый символ запоминается, чтобы была возможность вычислить суффиксальные ссылки по символу, который находился “под джокером”.

**Оценка сложности по времени.**

Алгоритм рассматривает каждый символ строки (N символов), вычисления суффиксальных ссылок (S – количество узлов бора, M – размер алфавита), проверяются хорошие суффиксальные ссылки (T – количество вхождений образцов в строке поиска), итоговая сложность O(N + T + S \* M).

**Оценка сложности по памяти.**

N – сумма длин всех шаблонов, K – количество символов в алфавите, итоговая сложность O(N \* K).

**Тестирование.**

**Тестирование первой программы.**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Нумерация | Входные данные | Выходные данные |
| 1 | NTAG  3  TAGT  TAG  T | NTAG  3  TAGT  -------------------------------------------  Добавление шаблона TAGT в бор  Рассматривается символ 'T'  Для данного символа был добавлен узел в бор, его номер: 1  Рассматривается символ 'A'  Для данного символа был добавлен узел в бор, его номер: 2  Рассматривается символ 'G'  Для данного символа был добавлен узел в бор, его номер: 3  Рассматривается символ 'T'  Для данного символа был добавлен узел в бор, его номер: 4  -------------------------------------------  TAG  -------------------------------------------  Добавление шаблона TAG в бор  Рассматривается символ 'T'  Узел для данного символа уже есть в боре, его номер: 1  Рассматривается символ 'A'  Узел для данного символа уже есть в боре, его номер: 2  Рассматривается символ 'G'  Узел для данного символа уже есть в боре, его номер: 3  -------------------------------------------  T  -------------------------------------------  Добавление шаблона T в бор  Рассматривается символ 'T'  Узел для данного символа уже есть в боре, его номер: 1  -------------------------------------------  -----------ПЕРЕХОД------------  Текущее состояние автомата: 0  Рассматривается символ текста 'N' по индексу 0  Выполняется переход по символу 'N' из узла 0  Для данного символа из данного узла не вычислен переход  Данный узел является корнем, и невозможно совершить переход по заданному символу, поэтому переход будет в узел 0  Переход по символу 'N' из узла 0 будет выполнен в узел 0  --------КОНЕЦ ПЕРЕХОДА--------  -----------ПЕРЕХОД------------  Текущее состояние автомата: 0  Рассматривается символ текста 'T' по индексу 1  Выполняется переход по символу 'T' из узла 0  Для данного символа из данного узла не вычислен переход  Из данного узла по данному символу возможно совершить переход в узел 1  Переход по символу 'T' из узла 0 будет выполнен в узел 1  --------КОНЕЦ ПЕРЕХОДА--------  --------ПОИСК ХОРОШИХ ССЫЛОК--------  Так как новый узел терминальный, то необходимо вычислить хорошие суффиксные ссылки, поскольку в образец могут входить другие образцы  ■ По индексу 2 располагается шаблон T  Вычисляется хорошая суффиксная ссылка для узла: 1  Вычисляется суффиксная ссылка для узла: 1  Узел корневой или первый после корня, поэтому суффиксная ссылка - 0  ■ Суффиксная ссылка узла 1 - 0  Суффиксная ссылка указывает на 0, поэтому хорошая суффиксная ссылка тоже 0  ■ Хорошая суффиксная ссылка узла 1 - 0  -----КОНЕЦ ПОИСКА ХОРОШИХ ССЫЛОК-----  -----------ПЕРЕХОД------------  Текущее состояние автомата: 1  Рассматривается символ текста 'A' по индексу 2  Выполняется переход по символу 'A' из узла 1  Для данного символа из данного узла не вычислен переход  Из данного узла по данному символу возможно совершить переход в узел 2  Переход по символу 'A' из узла 1 будет выполнен в узел 2  --------КОНЕЦ ПЕРЕХОДА--------  -----------ПЕРЕХОД------------  Текущее состояние автомата: 2  Рассматривается символ текста 'G' по индексу 3  Выполняется переход по символу 'G' из узла 2  Для данного символа из данного узла не вычислен переход  Из данного узла по данному символу возможно совершить переход в узел 3  Переход по символу 'G' из узла 2 будет выполнен в узел 3  --------КОНЕЦ ПЕРЕХОДА--------  Индекс прошлого найденного образца: 1  Размер прошлого найденного образца: 3  Индекс текущего найденного образца: 1  Прошлый и текущий образцы пересекаются, так как индекс текущего образца попал в область прошлого образца  --------ПОИСК ХОРОШИХ ССЫЛОК--------  Так как новый узел терминальный, то необходимо вычислить хорошие суффиксные ссылки, поскольку в образец могут входить другие образцы  ■ По индексу 2 располагается шаблон TAG  Вычисляется хорошая суффиксная ссылка для узла: 3  Вычисляется суффиксная ссылка для узла: 3  Для вычисления суффиксной ссылки узла нужно совершить переход по суффиксной ссылке родителя 2 по символу 'G'  Вычисляется суффиксная ссылка для узла: 2  Для вычисления суффиксной ссылки узла нужно совершить переход по суффиксной ссылке родителя 1 по символу 'A'  ■ Суффиксная ссылка узла 1 - 0  Выполняется переход по символу 'A' из узла 0  Для данного символа из данного узла не вычислен переход  Данный узел является корнем, и невозможно совершить переход по заданному символу, поэтому переход будет в узел 0  Переход по символу 'A' из узла 0 будет выполнен в узел 0  ■ Суффиксная ссылка узла 2 - 0  Выполняется переход по символу 'G' из узла 0  Для данного символа из данного узла не вычислен переход  Данный узел является корнем, и невозможно совершить переход по заданному символу, поэтому переход будет в узел 0  Переход по символу 'G' из узла 0 будет выполнен в узел 0  ■ Суффиксная ссылка узла 3 - 0  Суффиксная ссылка указывает на 0, поэтому хорошая суффиксная ссылка тоже 0  ■ Хорошая суффиксная ссылка узла 3 - 0  -----КОНЕЦ ПОИСКА ХОРОШИХ ССЫЛОК-----  2 2  2 3  Пересекающиеся шаблоны: TAG, T,  Количество узлов в автомате 5 |
| 2 | AAAAACCCCCC  3  A  C  AC | 1 1  2 1  3 1  4 1  5 1  5 3  6 2  7 2  8 2  9 2  10 2  11 2  Пересекающиеся шаблоны: A, C, AC,  Количество узлов в автомате 4 |
| 3 | AGNTGNTTTA  5  AAAA  TTT  TT  T  GN | 2 5  4 4  5 5  7 2  7 3  7 4  8 3  8 4  9 4  Пересекающиеся шаблоны: TTT, TT, T,  Количество узлов в автомате 10 |

**Тестирование второй программы.**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Нумерация | Входные данные | Выходные данные |
| 1 | ACTANCA  A$$A$  $ | -------------------------------------------  Добавление шаблона A$$A$ в бор  Рассматривается символ 'A'  Для данного символа был добавлен узел в бор, его номер: 1  Рассматривается символ '$'  Для данного символа был добавлен узел в бор, его номер: 2  Рассматривается символ '$'  Для данного символа был добавлен узел в бор, его номер: 3  Рассматривается символ 'A'  Для данного символа был добавлен узел в бор, его номер: 4  Рассматривается символ '$'  Для данного символа был добавлен узел в бор, его номер: 5  -------------------------------------------  -----------ПЕРЕХОД------------  Текущее состояние автомата: 0  Рассматривается символ текста 'A' по индексу 0  Выполняется переход по символу 'A' из узла 0  Для данного символа из данного узла не вычислен переход  Из данного узла по данному символу возможно совершить переход в узел 1  Переход по символу 'A' из узла 0 будет выполнен в узел 1  --------КОНЕЦ ПЕРЕХОДА--------  -----------ПЕРЕХОД------------  Текущее состояние автомата: 1  Рассматривается символ текста 'C' по индексу 1  Выполняется переход по символу 'C' из узла 1  Для данного символа из данного узла не вычислен переход  Из данного узла возможно совершить переход по джокеру в узел2  Переход по символу 'C' из узла 1 будет выполнен в узел 2  Был совершен переход по Джокеру, поэтому рассматриваемый символ был добавлен в список символов, которые находились 'под джокером', чтобы была возможность вычислить суффиксную ссылку  --------КОНЕЦ ПЕРЕХОДА--------  -----------ПЕРЕХОД------------  Текущее состояние автомата: 2  Рассматривается символ текста 'T' по индексу 2  Выполняется переход по символу 'T' из узла 2  Для данного символа из данного узла не вычислен переход  Из данного узла возможно совершить переход по джокеру в узел3  Переход по символу 'T' из узла 2 будет выполнен в узел 3  Был совершен переход по Джокеру, поэтому рассматриваемый символ был добавлен в список символов, которые находились 'под джокером', чтобы была возможность вычислить суффиксную ссылку  --------КОНЕЦ ПЕРЕХОДА--------  -----------ПЕРЕХОД------------  Текущее состояние автомата: 3  Рассматривается символ текста 'A' по индексу 3  Выполняется переход по символу 'A' из узла 3  Для данного символа из данного узла не вычислен переход  Из данного узла по данному символу возможно совершить переход в узел 4  Переход по символу 'A' из узла 3 будет выполнен в узел 4  --------КОНЕЦ ПЕРЕХОДА--------  -----------ПЕРЕХОД------------  Текущее состояние автомата: 4  Рассматривается символ текста 'N' по индексу 4  Выполняется переход по символу 'N' из узла 4  Для данного символа из данного узла не вычислен переход  Из данного узла возможно совершить переход по джокеру в узел5  Переход по символу 'N' из узла 4 будет выполнен в узел 5  Был совершен переход по Джокеру, поэтому рассматриваемый символ был добавлен в список символов, которые находились 'под джокером', чтобы была возможность вычислить суффиксную ссылку  --------КОНЕЦ ПЕРЕХОДА--------  Текущий узел является терминальным, найден шаблон по индексу 1  -----------ПЕРЕХОД------------  Текущее состояние автомата: 5  Рассматривается символ текста 'C' по индексу 5  Выполняется переход по символу 'C' из узла 5  Для данного символа из данного узла не вычислен переход  Невозможно совершить переход по заданному символу из заданного узла, поэтому необходимо вычислить переход по суффиксной ссылке  Вычисляется суффиксная ссылка для узла: 5  Для вычисления суффиксной ссылки узла нужно совершить переход по суффиксной ссылке родителя 4 по символу ПОД ДЖОКЕРОМ в тексте 'N'  Вычисляется суффиксная ссылка для узла: 4  Для вычисления суффиксной ссылки узла нужно совершить переход по суффиксной ссылке родителя 3 по СТАТИЧНОМУ символу 'A'  Вычисляется суффиксная ссылка для узла: 3  Для вычисления суффиксной ссылки узла нужно совершить переход по суффиксной ссылке родителя 2 по символу ПОД ДЖОКЕРОМ в тексте 'T'  Вычисляется суффиксная ссылка для узла: 2  Для вычисления суффиксной ссылки узла нужно совершить переход по суффиксной ссылке родителя 1 по символу ПОД ДЖОКЕРОМ в тексте 'C'  Вычисляется суффиксная ссылка для узла: 1  Узел корневой или первый после корня, поэтому суффиксная ссылка - 0  ■ Суффиксная ссылка узла 1 - 0  Выполняется переход по символу 'C' из узла 0  Для данного символа из данного узла не вычислен переход  Данный узел является корнем, и невозможно совершить переход по заданному символу, поэтому переход будет в узел 0  Переход по символу 'C' из узла 0 будет выполнен в узел 0  ■ Суффиксная ссылка узла 2 - 0  Выполняется переход по символу 'T' из узла 0  Для данного символа из данного узла не вычислен переход  Данный узел является корнем, и невозможно совершить переход по заданному символу, поэтому переход будет в узел 0  Переход по символу 'T' из узла 0 будет выполнен в узел 0  ■ Суффиксная ссылка узла 3 - 0  Выполняется переход по символу 'A' из узла 0  Переход по символу 'A' из узла 0 будет выполнен в узел 1  ■ Суффиксная ссылка узла 4 - 1  Выполняется переход по символу 'N' из узла 1  Для данного символа из данного узла не вычислен переход  Из данного узла возможно совершить переход по джокеру в узел2  Переход по символу 'N' из узла 1 будет выполнен в узел 2  ■ Суффиксная ссылка узла 5 - 2  Выполняется переход по символу 'C' из узла 2  Для данного символа из данного узла не вычислен переход  Из данного узла возможно совершить переход по джокеру в узел3  Переход по символу 'C' из узла 2 будет выполнен в узел 3  Переход по символу 'C' из узла 5 будет выполнен в узел 3  Был совершен переход по Джокеру, поэтому рассматриваемый символ был добавлен в список символов, которые находились 'под джокером', чтобы была возможность вычислить суффиксную ссылку  --------КОНЕЦ ПЕРЕХОДА--------  -----------ПЕРЕХОД------------  Текущее состояние автомата: 3  Рассматривается символ текста 'A' по индексу 6  Выполняется переход по символу 'A' из узла 3  Для данного символа из данного узла не вычислен переход  Из данного узла по данному символу возможно совершить переход в узел 4  Переход по символу 'A' из узла 3 будет выполнен в узел 4  --------КОНЕЦ ПЕРЕХОДА--------  Индексы найденных образцов:  1  Нет экземпляров образца, которые пересекаются между собой  Количество узлов в автомате 6 |
| 2 | ACTACTACTNG  $TACT$  $ | 2  5  Имеются экземпляры образца $TACT$, которые пересекаются между собой  Количество узлов в автомате 7 |
| 3 | NATNATNATNATACGTNAT  NAT$$$  $ | 1  4  7  10  Имеются экземпляры образца NAT$$$, которые пересекаются между собой  Количество узлов в автомате 7 |
| 4 | ANAA  A$  $ | 1  3  Нет экземпляров образца, которые пересекаются между собой |

## Выводы.

Был изучен и реализован алгоритм Ахо-Корасика. Также была реализована модификация программы, которая ищет в тексте шаблоны, включающие в себя символ джокера.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

**ИСХОДНЫЙ КОД ПРОГРАММЫ**

Название файла: lab5\_1.cpp

#include "vector"  
#include "iostream"  
#include "map"  
#include "cstring"  
#include "algorithm"  
#include "set"  
  
  
#define DEBUG  
  
const int ALPHABET\_LENGTH = 5;  
std::map<char, int> ALPHABET = {{'A', 0},  
 {'C', 1},  
 {'G', 2},  
 {'T', 3},  
 {'N', 4}};  
  
struct BohrVertex {  
 int nextVertices[ALPHABET\_LENGTH];  
 int patternNumber;  
 bool isTerminal;  
 int suffixLink;  
 int goodSuffixLink;  
 int parent;  
 char symbol;  
 int transitions[ALPHABET\_LENGTH];  
  
 static BohrVertex createVertex(int parentNumber, char symbolOfEdge) {  
 auto vertex = BohrVertex();  
 memset(vertex.nextVertices, 255, sizeof(vertex.nextVertices));  
 memset(vertex.transitions, 255, sizeof(vertex.transitions));  
 vertex.isTerminal = false;  
 vertex.suffixLink = -1;  
 vertex.parent = parentNumber;  
 vertex.symbol = symbolOfEdge;  
 vertex.goodSuffixLink = -1;  
 return vertex;  
 }  
};  
  
  
class Bohr {  
  
 std::vector<BohrVertex> vertexes {};  
 std::vector<std::string> patterns {};  
 std::string & text;  
  
 int indexOfLastPattern;  
 int numOfLastPattern;  
 std::set<int> crosses {};  
  
public:  
  
 Bohr(std::string & text) : text(text) {  
 auto root = BohrVertex::createVertex(0, '\0');  
 vertexes.push\_back(root);  
  
 indexOfLastPattern = 0;  
 numOfLastPattern = -1;  
 }  
  
 void addStringToBohr(const std::string & string, int indexOfPattern) {  
 int number = 0;  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "-------------------------------------------\n" << std::endl;  
 std::cout << "Добавление шаблона " << string << " в бор\n";  
#endif  
  
 for (char symbol : string) {  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Рассматривается символ " << "'" << symbol << "'\n";  
#endif  
  
 int ordinal = ALPHABET[symbol];  
 if (vertexes[number].nextVertices[ordinal] == -1) {  
  
 auto vertex = BohrVertex::createVertex(number, symbol);  
 vertexes.push\_back(vertex);  
 vertexes[number].nextVertices[ordinal] = (int) vertexes.size() - 1;  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Для данного символа был добавлен узел в бор, его номер: " << vertexes[number].nextVertices[ordinal] << "\n\n";  
#endif  
  
 }  
#ifdef DEBUG  
 else { std::cout << "Узел для данного символа уже есть в боре, его номер: " << vertexes[number].nextVertices[ordinal] << "\n\n"; }  
#endif  
 number = vertexes[number].nextVertices[ordinal];  
 }  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "-------------------------------------------" << std::endl;  
#endif  
  
 vertexes[number].isTerminal = true;  
 vertexes[number].patternNumber = indexOfPattern;  
 patterns.push\_back(string);  
 }  
  
 int getSuffixLink(int vertex);  
 int getTransition(int vertex, char symbol);  
 int getGoodSuffixLink(int vertex);  
 void doAlgorithm();  
};  
  
  
int Bohr::getSuffixLink(int vertex) {  
  
 if (vertexes[vertex].suffixLink == -1) {  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "\nВычисляется суффиксная ссылка для узла: " << vertex << "\n";  
#endif  
  
 if (vertex == 0 || vertexes[vertex].parent == 0) {  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Узел корневой или первый после корня, поэтому суффиксная ссылка - 0\n";  
#endif  
  
 vertexes[vertex].suffixLink = 0;  
 }  
  
 else {  
 int parent = vertexes[vertex].parent;  
 char symbol = vertexes[vertex].symbol;  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Для вычисления суффиксной ссылки узла нужно совершить переход"  
 " по суффиксной ссылке родителя " << parent << " по символу '" << symbol << "'\n";  
#endif  
 vertexes[vertex].suffixLink = getTransition(getSuffixLink(parent), symbol);  
 }  
  
 }  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "■ Суффиксная ссылка узла " << vertex << " - " << vertexes[vertex].suffixLink << "\n";  
#endif  
  
 return vertexes[vertex].suffixLink;  
}  
  
  
int Bohr::getTransition(int vertex, char symbol) {  
  
 char ordinal = ALPHABET[symbol];  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "\nВыполняется переход по символу '" << symbol << "'" << " из узла " << vertex << "\n";  
#endif  
  
 if (vertexes[vertex].transitions[ordinal] == -1) {  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Для данного символа из данного узла не вычислен переход\n";  
#endif  
  
 if (vertexes[vertex].nextVertices[ordinal] != -1) {  
  
 int nextVertex = vertexes[vertex].nextVertices[ordinal];  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Из данного узла по данному символу возможно совершить переход в узел " << nextVertex << "\n";  
#endif  
 vertexes[vertex].transitions[ordinal] = nextVertex;  
  
 } else {  
  
 if (vertex == 0) {  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Данный узел является корнем, и невозможно совершить переход по заданному символу, поэтому переход будет в узел 0\n";  
#endif  
 vertexes[vertex].transitions[ordinal] = 0;  
 }  
  
 else {  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Невозможно совершить переход по заданному символу из заданного узла, поэтому необходимо вычислить переход по суффиксной ссылке\n";  
#endif  
 vertexes[vertex].transitions[ordinal] = getTransition(getSuffixLink(vertex), symbol);  
 }  
 }  
 }  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Переход по символу '" << symbol << "' из узла " << vertex << " будет выполнен в узел " << vertexes[vertex].transitions[ordinal] << "\n";  
#endif  
  
 return vertexes[vertex].transitions[ordinal];  
}  
  
  
int Bohr::getGoodSuffixLink(int vertex) {  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "\nВычисляется хорошая суффиксная ссылка для узла: " << vertex << "\n";  
#endif  
  
 if (vertexes[vertex].goodSuffixLink == -1) {  
 int suffixLink = getSuffixLink(vertex);  
  
 if (suffixLink == 0) {  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Суффиксная ссылка указывает на 0, поэтому хорошая суффиксная ссылка тоже 0\n";  
#endif  
 vertexes[vertex].goodSuffixLink = 0;  
 }  
 else {  
 if (vertexes[suffixLink].isTerminal) {  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Узел по суффиксной ссылке является терминальным, поэтому суффиксная ссылка хорошая\n";  
#endif  
 vertexes[vertex].goodSuffixLink = suffixLink;  
 }  
 else {  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Узел по суффиксной ссылке не терминальный, поэтому вычисляется хорошая суффиксная ссылка узла" << suffixLink << "\n";  
#endif  
 vertexes[vertex].goodSuffixLink = getGoodSuffixLink(suffixLink);  
 }  
 }  
 }  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "■ Хорошая суффиксная ссылка узла " << vertex << " - " << vertexes[vertex].goodSuffixLink << "\n";  
#endif  
 return vertexes[vertex].goodSuffixLink;  
}  
  
  
bool resultComparator(std::pair<int, int> first, std::pair<int, int> second) {  
 if (first.first < second.first) return true;  
 if (first.first == second.first)  
 return first.second < second.second;  
 return false;  
}  
  
  
void Bohr::doAlgorithm() {  
  
 int vertex = 0;  
 auto result = std::vector<std::pair<int, int>>();  
  
 for (int i = 0; i < text.size(); ++i) {  
  
 char symbol = text[i];  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "-----------ПЕРЕХОД------------\n";  
 std::cout << "Текущее состояние автомата: " << vertex << "\n";  
 std::cout << "Рассматривается символ текста '" << symbol << "' " << "по индексу " << i << "\n";  
#endif  
  
 vertex = getTransition(vertex, symbol);  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "--------КОНЕЦ ПЕРЕХОДА--------\n";  
#endif  
  
 if (vertexes[vertex].isTerminal) {  
  
 int indexOfCurrentPattern = i - (int) patterns[vertexes[vertex].patternNumber].size() + 1;  
 if (numOfLastPattern != - 1 && indexOfCurrentPattern < indexOfLastPattern + patterns[numOfLastPattern].size()) {  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Индекс прошлого найденного образца: " << indexOfLastPattern << "\n";  
 std::cout << "Размер прошлого найденного образца: " << patterns[vertexes[vertex].patternNumber].size() << "\n";  
 std::cout << "Индекс текущего найденного образца: " << indexOfCurrentPattern << "\n";  
 std::cout << "Прошлый и текущий образцы пересекаются, так как индекс"  
 " текущего образца попал в область прошлого образца" << "\n";  
#endif  
  
 crosses.insert(numOfLastPattern);  
 crosses.insert(vertexes[vertex].patternNumber);  
 }  
  
 numOfLastPattern = vertexes[vertex].patternNumber;  
 indexOfLastPattern = i - (int) patterns[numOfLastPattern].size() + 1;  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "--------ПОИСК ХОРОШИХ ССЫЛОК--------\n";  
 std::cout << "Так как новый узел терминальный, то необходимо вычислить хорошие суффиксные ссылки,"  
 " поскольку в образец могут входить другие образцы\n";  
#endif  
  
 auto innerPatterns = std::vector<int>();  
  
 // Все внутренние шаблоны (хорошие суффиксные ссылки) точно пересекаются  
 // Если в innerPatterns будет > 1 элемента, значит нужно добавить все эти элементы в множество пересекающихся  
  
 for (int link = vertex; link; link = getGoodSuffixLink(link)) {  
 int patternNumber = vertexes[link].patternNumber;  
  
 innerPatterns.push\_back(patternNumber);  
  
 int indexOfPattern = i - (int) patterns[patternNumber].size() + 2;  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "■ По индексу " << indexOfPattern << " располагается шаблон " << patterns[patternNumber] << "\n";  
#endif  
 result.emplace\_back(indexOfPattern, patternNumber + 1);  
 }  
  
 if (innerPatterns.size() > 1)  
 for (auto p : innerPatterns) crosses.insert(p);  
  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "-----КОНЕЦ ПОИСКА ХОРОШИХ ССЫЛОК-----\n";  
#endif  
 }  
 }  
  
 std::sort(result.begin(), result.end(), resultComparator);  
  
 for (auto pair : result) {  
 std::cout << pair.first << " " << pair.second << std::endl;  
 }  
  
 std::cout << "Пересекающиеся шаблоны: ";  
 for (auto cross : crosses) {  
 std::cout << patterns[cross] << ", ";  
 }  
  
 if (crosses.empty()) std::cout << " нет\n";  
  
 std::cout << "\nКоличество узлов в автомате " << vertexes.size() << "\n";  
  
}  
  
  
int main() {  
 int countPatterns;  
 std::string text, pattern;  
 std::cin >> text >> countPatterns;  
  
 auto bohr = Bohr(text);  
  
 auto patterns = std::vector<std::string>();  
 for (int i = 0; i < countPatterns; ++i) {  
 std::cin >> pattern;  
 patterns.push\_back(pattern);  
 bohr.addStringToBohr(pattern, i);  
 }  
  
 bohr.doAlgorithm();  
 return 0;  
}

Название файла: lab5\_2.cpp

#include "vector"  
#include "iostream"  
#include "map"  
#include "cstring"  
#include "algorithm"  
  
  
  
const int ALPHABET\_LENGTH = 6;  
std::map<char, int> ALPHABET = {{'A', 0},  
 {'C', 1},  
 {'G', 2},  
 {'T', 3},  
 {'N', 4}};  
  
struct BohrVertex {  
 int nextVertices[ALPHABET\_LENGTH];  
 bool isTerminal;  
 int suffixLink;  
  
 int parent;  
 char symbol;  
 int transitions[ALPHABET\_LENGTH];  
  
 static BohrVertex createVertex(int parentNumber, char symbolOfEdge) {  
 auto vertex = BohrVertex();  
 memset(vertex.nextVertices, 255, sizeof(vertex.nextVertices));  
 memset(vertex.transitions, 255, sizeof(vertex.transitions));  
 vertex.isTerminal = false;  
 vertex.suffixLink = -1;  
 vertex.parent = parentNumber;  
 vertex.symbol = symbolOfEdge;  
  
 return vertex;  
 }  
};  
  
  
class Bohr {  
 std::vector<BohrVertex> vertexes;  
  
 char joker;  
 std::string text;  
 std::string pattern;  
  
 int indexOfLastFoundedPattern;  
 bool isThereCrossing;  
  
 void addStringToBohr(const std::string & string);  
 int getSuffixLink(int vertex);  
 int getTransition(int vertex, char symbol);  
 std::string getPatternFromText(int i, int sizeOfPattern);  
  
  
public:  
 std::vector<char> symbolsUnderJoker;  
 int numOfSymbolUnderJoker{};  
 Bohr(char joker, std::string & text, std::string & pattern);  
 void doAlgorithm();  
};  
  
Bohr::Bohr(char joker, std::string &text, std::string &pattern)  
 : joker(joker), text(text), pattern(pattern) {  
 vertexes = std::vector<BohrVertex>();  
 auto root = BohrVertex::createVertex(0, '\0');  
 vertexes.push\_back(root);  
  
 indexOfLastFoundedPattern = - pattern.size();  
 isThereCrossing = false;  
}  
  
  
void Bohr::addStringToBohr(const std::string &string) {  
 int number = 0;  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "-------------------------------------------\n" << std::endl;  
 std::cout << "Добавление шаблона " << string << " в бор\n";  
#endif  
  
 for (char symbol : string) {  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Рассматривается символ " << "'" << symbol << "'\n";  
#endif  
  
 int ordinal = ALPHABET[symbol];  
 if (vertexes[number].nextVertices[ordinal] == -1) {  
  
 auto vertex = BohrVertex::createVertex(number, symbol);  
 vertexes.push\_back(vertex);  
 vertexes[number].nextVertices[ordinal] = (int) vertexes.size() - 1;  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Для данного символа был добавлен узел в бор, его номер: " << vertexes[number].nextVertices[ordinal] << "\n\n";  
#endif  
  
 }  
#ifdef DEBUG  
 else { std::cout << "Узел для данного символа уже есть в боре, его номер: " << vertexes[number].nextVertices[ordinal] << "\n\n"; }  
#endif  
 number = vertexes[number].nextVertices[ordinal];  
 }  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "-------------------------------------------" << std::endl;  
#endif  
  
 vertexes[number].isTerminal = true;  
}  
  
  
int Bohr::getSuffixLink(int vertex) {  
  
 if (vertexes[vertex].suffixLink == -1 || vertexes[vertex].symbol == joker) {  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "\nВычисляется суффиксная ссылка для узла: " << vertex << "\n";  
#endif  
  
 if (vertex == 0 || vertexes[vertex].parent == 0) {  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Узел корневой или первый после корня, поэтому суффиксная ссылка - 0\n";  
#endif  
 vertexes[vertex].suffixLink = 0;  
 }  
 else {  
 int parent = vertexes[vertex].parent;  
 if (vertexes[vertex].symbol == joker) {  
 char symbol = symbolsUnderJoker[numOfSymbolUnderJoker--];  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Для вычисления суффиксной ссылки узла нужно совершить переход"  
 " по суффиксной ссылке родителя " << parent << " по символу ПОД ДЖОКЕРОМ в тексте '" << symbol << "'\n";  
#endif  
 vertexes[vertex].suffixLink = getTransition(getSuffixLink(parent), symbol);  
 }  
 else {  
 char symbol = vertexes[vertex].symbol;  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Для вычисления суффиксной ссылки узла нужно совершить переход"  
 " по суффиксной ссылке родителя " << parent << " по СТАТИЧНОМУ символу '" << symbol << "'\n";  
#endif  
 vertexes[vertex].suffixLink = getTransition(getSuffixLink(parent), symbol);  
 }  
 }  
 }  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "■ Суффиксная ссылка узла " << vertex << " - " << vertexes[vertex].suffixLink << "\n";  
#endif  
  
 return vertexes[vertex].suffixLink;  
}  
  
  
int Bohr::getTransition(int vertex, char symbol) {  
 char ordinal = ALPHABET[symbol];  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "\nВыполняется переход по символу '" << symbol << "'" << " из узла " << vertex << "\n";  
#endif  
  
 if (vertexes[vertex].transitions[ordinal] == -1 || vertexes[vertex].symbol == joker) {  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Для данного символа из данного узла не вычислен переход\n";  
#endif  
  
 if (vertexes[vertex].nextVertices[ordinal] != -1) {  
 int nextVertex = vertexes[vertex].nextVertices[ordinal];  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Из данного узла по данному символу возможно совершить переход в узел " << nextVertex << "\n";  
#endif  
 vertexes[vertex].transitions[ordinal] = nextVertex;  
 }  
  
 else if (vertexes[vertex].nextVertices[5] != -1) {  
 int nextVertex = vertexes[vertex].nextVertices[5];  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Из данного узла возможно совершить переход по джокеру в узел" << nextVertex << "\n";  
#endif  
 vertexes[vertex].transitions[ordinal] = nextVertex;  
 }  
  
 else {  
 if (vertex == 0) {  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Данный узел является корнем, и невозможно совершить переход по заданному символу, поэтому переход будет в узел 0\n";  
#endif  
 vertexes[vertex].transitions[ordinal] = 0;  
 }  
 else {  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Невозможно совершить переход по заданному символу из заданного узла, поэтому необходимо вычислить переход по суффиксной ссылке\n";  
#endif  
 vertexes[vertex].transitions[ordinal] = getTransition(getSuffixLink(vertex), symbol);  
 }  
 }  
 }  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Переход по символу '" << symbol << "' из узла " << vertex << " будет выполнен в узел " << vertexes[vertex].transitions[ordinal] << "\n";  
#endif  
  
 return vertexes[vertex].transitions[ordinal];  
}  
  
  
void Bohr::doAlgorithm() {  
 addStringToBohr(pattern);  
  
 int vertex = 0;  
 auto results = std::map<int, std::string>();  
  
 for (int i = 0; i < text.size(); ++i) {  
 char symbol = text[i];  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "-----------ПЕРЕХОД------------\n";  
 std::cout << "Текущее состояние автомата: " << vertex << "\n";  
 std::cout << "Рассматривается символ текста '" << symbol << "' " << "по индексу " << i << "\n";  
#endif  
  
 vertex = getTransition(vertex, symbol);  
  
 if (vertexes[vertex].symbol == joker) {  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Был совершен переход по Джокеру, поэтому рассматриваемый символ"  
 " был добавлен в список символов, которые находились 'под джокером'"  
 ", чтобы была возможность вычислить суффиксную ссылку\n";  
#endif  
 symbolsUnderJoker.push\_back(symbol);  
 }  
 numOfSymbolUnderJoker = (int) symbolsUnderJoker.size() - 1;  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "--------КОНЕЦ ПЕРЕХОДА--------\n";  
#endif  
  
 if (vertexes[vertex].isTerminal) {  
 int indexOfPattern = i - (int) pattern.size() + 2;  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Текущий узел является терминальным, найден шаблон по индексу " << indexOfPattern << "\n";  
#endif  
  
 if (!isThereCrossing && indexOfPattern < indexOfLastFoundedPattern + pattern.size()) {  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Текущий шаблон пересекается с прошлым найденным шаблоном в строке поиска\n";  
#endif  
  
 isThereCrossing = true;  
 }  
 indexOfLastFoundedPattern = indexOfPattern;  
  
 results[indexOfPattern] = getPatternFromText(indexOfPattern - 1, pattern.size());  
 }  
 }  
  
#ifdef DEBUG  
 std::cout << "Индексы найденных образцов:\n";  
#endif  
  
 for (const auto& result : results)  
 std::cout << result.first << std::endl;  
  
 if (isThereCrossing)  
 std::cout << "Имеются экземпляры образца " << pattern << ", которые пересекаются между собой" << std::endl;  
 else  
 std::cout << "Нет экземпляров образца, которые пересекаются между собой" << std::endl;  
  
 std::cout << "\nКоличество узлов в автомате " << vertexes.size() << "\n";  
  
}  
  
std::string Bohr::getPatternFromText(int i, int sizeOfPattern) {  
 auto foundPattern = std::string();  
 int endOfPattern = i + sizeOfPattern;  
 for (; i < endOfPattern; ++i) foundPattern += text[i];  
 return foundPattern;  
}  
  
  
int main() {  
 char joker;  
 std::string text, pattern;  
 std::cin >> text >> pattern >> joker;  
 auto bohr = Bohr(joker, text, pattern);  
 ALPHABET[joker] = 5;  
 bohr.doAlgorithm();  
 return 0;  
}