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-Корасик

Студент гр. 8382 _____ Ершов М.И..

Преподаватель _____ Фирсов М.А.

Санкт-Петербург
2020

Цель работы

Изучить работу алгоритма Ахо-Корасик для решения задач точного поиска набора образцов и поиска образца с джокером (символом, совпадающим с любым из алфавита).

Задание 1

Разработайте программу, решающую задачу точного поиска набора образцов.

Вход:

Первая строка содержит текст (T, $1 \leq |T| \leq 100000$)

Вторая - число ($1 \leq n \leq 3000$), каждая следующая из строк содержит шаблон из набора = $\{p_1, \ldots, p_n\}$ $1 \leq |p_i| \leq 75$

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 необходимо найти все вхождения P в текст T.

Например, образец a??c? с джокером ? встречается дважды в тексте .

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, $1 \leq |T| \leq 100000$)

Шаблон (P, $1 \leq |P| \leq 40$)

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

Индивидуализация

Вариант 4

Реализовать режим поиска, при котором все найденные образцы не пересекаются в строке поиска (т.е. некоторые вхождения не будут найдены; решение задачи неоднозначно).

Описание Бора

Бор – структура данных для хранения набора строк, представляющая из себя дерево с символами на рёбрах. Строки получаются последовательной записью символов между корнем дерева и терминальной вершиной.

Из такой структуры данных возможно построить автомат, для этого необходимо добавить ссылки на максимальные суффиксы строк.

Описание алгоритма задания 1

В программе используется алгоритм Ахо-Корасик.

Для всех строк шаблонов строится автомат по бору. Далее, для каждого символа текста выполняется поиск по автомату.

По возможности переходим либо в потомка, если для текущей вершины он существует, либо по суффиксной ссылке. После перехода выполняется проверка на то, является ли вершина и всевозможные её суффиксы – терминальными. Если да, то возвращаем все такие найденные номера паттернов. Если символа в автомате не оказалось, то текущая вершина принимает значение корня – вхождение не найдено.

Для того, чтобы найти не пересекающиеся шаблоны в тексте (индивидуализация), был удалён переход по суффиксам и после каждой найденной терминальной вершины - значение текущей позиции в автомате становилось равным корню.

Описание алгоритма задания 2

Здесь шаблонами являются подстроки маски, разделенные символами джокера, обозначим множество таких подстрок как $\{R_1, \dots, R_n\}$. По таким подстрокам также строится автомат по бору. После этого для каждого символа текста выполняется поиск в нём. Появления подстроки в тексте на позиции означает возможное появление маски на позиции − + 1, где – индекс начала подстроки в маске. Далее, с помощью вспомогательного массива для таких позиций увеличиваем его значение на 1. Индексы, по которым хранятся значения равному, являются вхождениями маски в текст.

Сложность алгоритма

Построение бора выполняется за O(m), где m – суммарная длина паттернов (для джокеров – $\sum Q_i$). Для построения суффиксных ссылок используется обход в ширину. Его сложность составляет O(V+E), но т.к. кол-во рёбер линейно зависит от кол-ва вершин, то упрощаем до O(2m) = O(m). Прохождение текста по бору составляет O(n), где n – длина текста. В алгоритме поиска маски, в тексте просматривается промежуточный массив, но его размер равен размеру исходного текста, таким образом на сложность это никак не влияет. Итак, сложность по времени составляет O(m + n).

Сложность по памяти для хранения бора составляет O(m) - каждый символ представляет собой вершину бора, также на каждой позиции текста могут встретиться все шаблоны, что в свою очередь приводит к общей сложности по памяти O(n∗k+m).

Описание функций и структур данных

Class TreeNode – структура, для хранения данных на вершину бора.

Поля TreeNode:

char value – символ, по которому был произведён переход;

TreeNode* parent – ссылка на родительскую вершину;

TreeNode* suffixLink – суффиксная ссылка;

unordered_map <char, TreeNode*> children – словарь, ключом которого является символ, по которому можно перейти на потомка;

size_t numOfPattern – порядковый номер паттерна (в задании 1)

vector<pair<size_t, size_t>> substringEntries – вектор, элементами которого является пара: индекс вхождения в маску и длина подстроки (в задания 2)

Методы TreeNode:

TreeNode(char val) – конструктор для заполнения поля : значения по которому перешли;

void insert(const string &str) – метод для вставки строки в бор;

auto find(const char c) – выполняет поиск, по заданному символу, в боре, в случае найденной терминальной вершины, возвращает либо вектор size_t (задание 1), либо вектор пар size_t (задание 2);

void makeAutomaton() – делает из бора автомат, путём добавления суффиксных ссылок;

Class Trie – обёртка над классом TreeNode, состоящая из одного поля и аналогичных методов.

Функции задания 1:

set<pair<size_t, size_t>> AhoCorasick(const string &text, const vector<string> &patterns) – функция, возвращающая множество, состоящее из пары индекса вхождения в текст и номера паттерна, который был найден в нём.

Функции задания 2:

vector <size_t> AhoCorasick(const string &text, const string &mask, const char joker)– функция, возвращающая вектор индексов вхождения маски в текст.

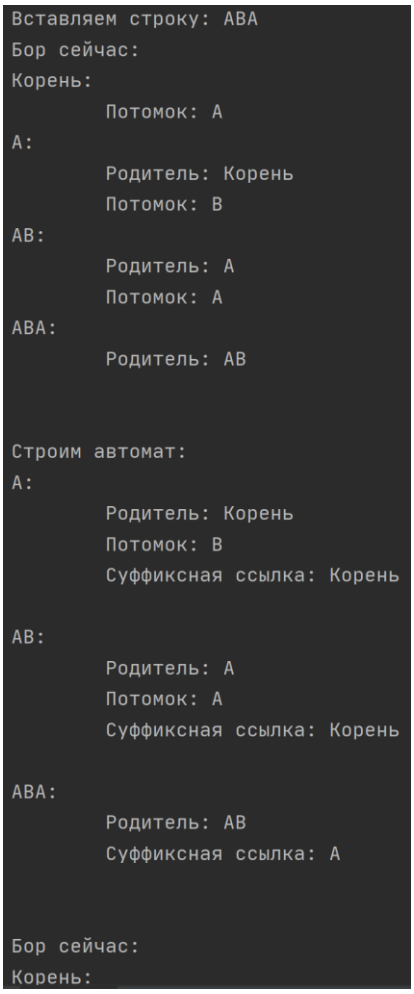
Тестирование

Задание 1

Ввод	**Вывод**
ABCASDTEAD 5 ABC CAS ASD TEA EAD	1 1 4 3 7 4
ABCBABCBA 4 ABC BC CBA BAB	1 1 4 4 7 3
CATNATCAT 3 AT CAT NA	1 2 4 3 7 2
CCCA 1 CC	1 1

Тест с подробным промежуточным выводом:

ABABA
1
ABA



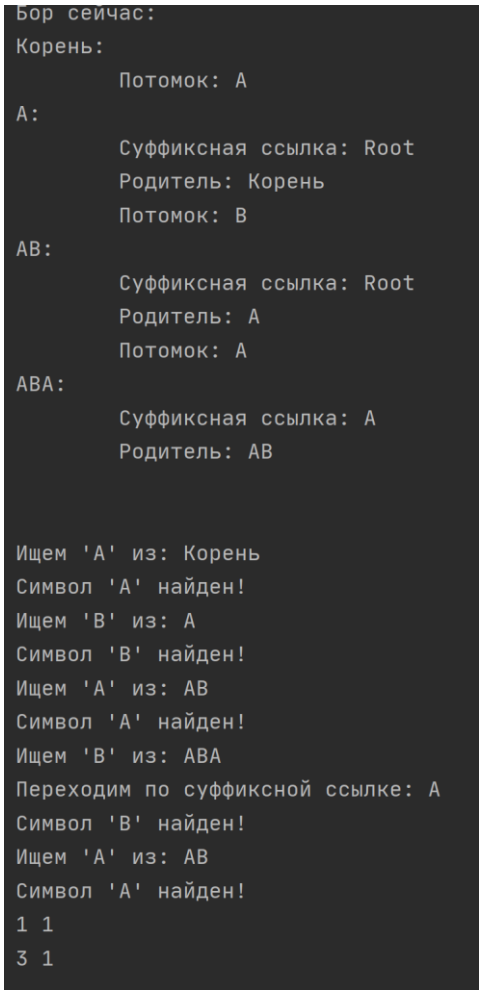
```
Вставляем строку: ABA
Бор сейчас:
Корень:
        Потомок: A
A:
        Родитель: Корень
        Потомок: B
AB:
        Родитель: A
        Потомок: A
ABA:
        Родитель: AB


Строим автомат:
A:
        Родитель: Корень
        Потомок: B
        Суффиксная ссылка: Корень

AB:
        Родитель: A
        Потомок: A
        Суффиксная ссылка: Корень

ABA:
        Родитель: AB
        Суффиксная ссылка: A


Бор сейчас:
Корень:
```



```
Бор сейчас:
Корень:
        Потомок: A
A:
        Суффиксная ссылка: Root
        Родитель: Корень
        Потомок: B
AB:
        Суффиксная ссылка: Root
        Родитель: A
        Потомок: A
ABA:
        Суффиксная ссылка: A
        Родитель: AB


Ищем 'A' из: Корень
Символ 'A' найден!
Ищем 'B' из: A
Символ 'B' найден!
Ищем 'A' из: AB
Символ 'A' найден!
Ищем 'B' из: ABA
Переходим по суффиксной ссылке: A
Символ 'B' найден!
Ищем 'A' из: AB
Символ 'A' найден!
1 1
3 1
```

Задание 2:

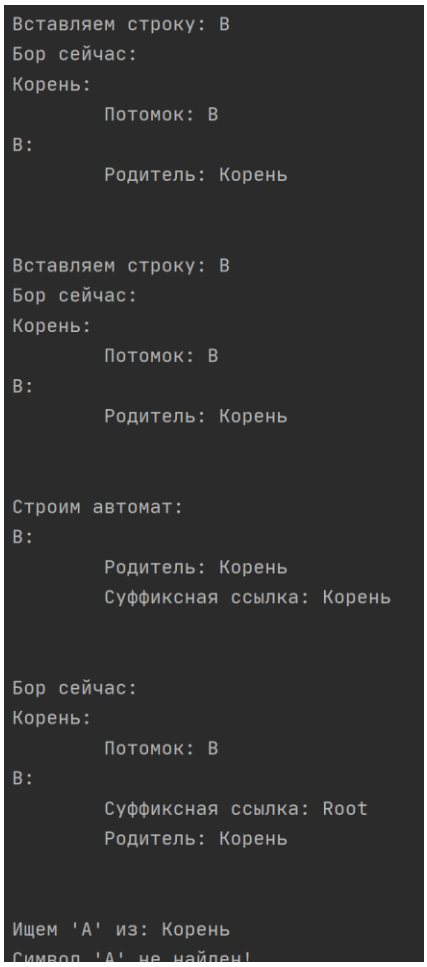
Ввод	**Вывод**
ACTANCA A$$A $	1
CATNATCAT $AT $	1 4 7

Тест с подробным промежуточным выводом

ABCBABC

B$B

$



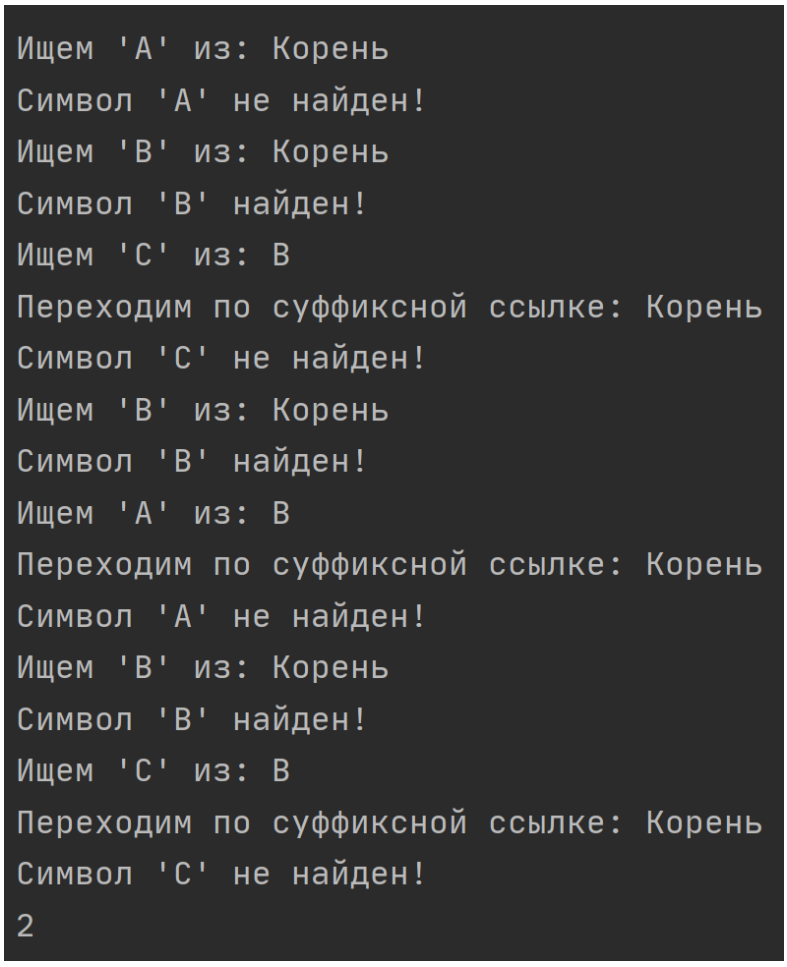
```
Вставляем строку: B
Бор сейчас:
Корень:
        Потомок: B
B:
        Родитель: Корень


Вставляем строку: B
Бор сейчас:
Корень:
        Потомок: B
B:
        Родитель: Корень


Строим автомат:
B:
        Родитель: Корень
        Суффиксная ссылка: Корень


Бор сейчас:
Корень:
        Потомок: B
B:
        Суффиксная ссылка: Root
        Родитель: Корень


Ищем 'A' из: Корень
Символ 'A' не найден!
```



```
Ищем 'A' из: Корень
Символ 'A' не найден!
Ищем 'B' из: Корень
Символ 'B' найден!
Ищем 'C' из: B
Переходим по суффиксной ссылке: Корень
Символ 'C' не найден!
Ищем 'B' из: Корень
Символ 'B' найден!
Ищем 'A' из: B
Переходим по суффиксной ссылке: Корень
Символ 'A' не найден!
Ищем 'B' из: Корень
Символ 'B' найден!
Ищем 'C' из: B
Переходим по суффиксной ссылке: Корень
Символ 'C' не найден!
2
```

Вывод

В ходе выполнения лабораторной работы была изучена работа алгоритма Ахо-Корасик. Алгоритм был использован для нахождения вхождений множества строк в тексте, а также для нахождения шаблона с джокером.

Приложение А

Код программы 1

```
#include <iostream>
#include <string>
#include <vector>
#include <set>
#include <queue>
#include <unordered_map>

using namespace std;

class TreeNode {
public:
  explicit TreeNode(char val) : value(val) {} // Конструктор ноды

  // Отладочная функция для печати бора
  void printTrie() {
    cout << "Бор сейчас:" << endl;

    queue<TreeNode *> queue;
    queue.push(this);

    while (!queue.empty()) {
      auto curr = queue.front();
      if (!curr->value)
        cout << "Корень:" << endl;
      else
        cout << curr->dbgStr << ':' << endl;

      if (curr->suffixLink)
        cout << "\tСуффиксная ссылка: " << (curr->suffixLink == this ? "Root" : curr->suffixLink->dbgStr) << endl;

      if (curr->parent && curr->parent->value)
        cout << "\tРодитель: " << curr->parent->dbgStr << endl;
      else if (curr->parent)
        cout << "\tРодитель: Корень" << endl;

      if (!curr->children.empty()) cout << "\tПотомок: ";
      for (auto child : curr->children) {
        cout << child.second->value << ' ';
        queue.push(child.second);
      }

      queue.pop();
      cout << endl;
    }
    cout << endl;

  }

  // Вставка подстроки в бор
  void insert(const string &str) {
    auto curr = this;
    static size_t countPatterns = 0;

    for (char c : str) { // Идем по строке
      // Если из текущей вершины по текущему символу не было создано перехода
      if (curr->children.find(c) == curr->children.end()) {
        // Создаем переход
        curr->children[c] = new TreeNode(c);
        curr->children[c]->parent = curr;
        curr->children[c]->dbgStr += curr->dbgStr + c;
      }
```

```
        // Спускаемся по дереву
        curr = curr->children[c];
      }

      cout << "Вставляем строку: " << str << endl;
      printTrie();

      // Показатель терминальной вершины, значение которого равно порядковому номеру добавления
шаблона
      curr->numOfPattern = ++countPatterns;
    }

    // Функция для поиска подстроки в строке при помощи автомата
    vector<size_t> find(const char c) {
      static const TreeNode *curr = this; // Вершина, с которой необходимо начать следующий вызов
      cout << "Ищем '" << c << "' из: " << (curr->dbgStr.empty() ? "Корень" : curr->dbgStr) << endl; // Дебаг

      for (; curr != nullptr; curr = curr->suffixLink) {
        // Обходим потомков, если искомый символ среди потомков не найден, то
        // переходим по суффиксной ссылке для дальнейшего поиска
        for (auto child : curr->children)
          if (child.first == c) { // Если символ потомка равен искомому
            curr = child.second; // Значение текущей вершины переносим на этого потомка
            vector<size_t> found; // Вектор номеров найденных терм. вершин

            // ИНДИВИДУАЛИЗАЦИЯ
//            if (curr->numOfPattern) { // Для пропуска пересечений, после нахождения терминальной
вершины
//              found.push_back(curr->numOfPattern - 1); // Добавляем к найденным эту вершину
//              curr = this; // И переходим в корень
//            }
            // НЕ ИНДИВИДУАЛИЗАЦИЯ
            // Обходим суффиксы, т.к. они тоже могут быть терминальными вершинами
            for (auto temp = curr; temp->suffixLink; temp = temp->suffixLink)
              if (temp->numOfPattern)
                found.push_back(temp->numOfPattern - 1);
            //

            cout << "Символ '" << c << "' найден!" << endl; // Дебаг
            return found;
          }

        if (curr->suffixLink) {
          cout << "Переходим по суффиксной ссылке: ";
          cout << (curr->suffixLink->dbgStr.empty() ? "Корень" : curr->suffixLink->dbgStr) << endl;
        }
      }
      cout << "Символ '" << c << "' не найден!" << endl; // Дебаг

      curr = this;
      return {};
    }

    // Функция для построения недетерминированного автомата
    void makeAutomaton() {
      cout << "Строим автомат: " << endl;

      queue<TreeNode *> queue; // Очередь для обхода в ширину

      for (auto child : children) // Заполняем очередь потомками корня
        queue.push(child.second);

      while (!queue.empty()) {
        auto curr = queue.front(); // Обрабатываем верхушку очереди
```

```
        // Для дебага
        cout << curr->dbgStr << ':' << endl;
        if (curr->parent && curr->parent->value)
            cout << "\tРодитель: " << curr->parent->dbgStr << endl;
        else if (curr->parent)
            cout << "\tРодитель: Корень" << endl;

        if (!curr->children.empty())
            cout << "\tПотомок: ";
        //

        // Заполняем очередь потомками текущей верхушки
        for (auto child : curr->children) {
            cout << child.second->value << ' '; // Дебаг
            queue.push(child.second);
        }

        // Дебаг
        if (!curr->children.empty())
            cout << endl;

        queue.pop();
        auto p = curr->parent; // Ссылка на родителя обрабатываемой вершины
        char x = curr->value; // Значение обрабатываемой вершины
        if (p) p = p->suffixLink; // Если родитель существует, то переходим по суффиксной ссылке

        // Пока можно переходить по суффиксной ссылке или пока
        // не будет найден переход в символ обрабатываемой вершины
        while (p && p->children.find(x) == p->children.end())
            p = p->suffixLink; // Переходим по суффиксной ссылке

        // Суффиксная ссылка для текущей вершины равна корню, если не смогли найти переход
        // в дереве по символу текущей вершины, иначе равна найденной вершине
        curr->suffixLink = p ? p->children[x] : this;
        // Дебаг
        cout << "\tСуффиксная ссылка: " << (curr->suffixLink == this ? "Корень" : curr->suffixLink->dbgStr) << endl
<< endl;
    }

    // Дебаг
    cout << endl;
    printTrie();
  }

  ~TreeNode() { // Деструктор ноды
    for (auto child : children) delete child.second;
  }

private:
  string dbgStr = ""; // Для отладки
  char value; // Значение ноды
  size_t numOfPattern = 0; // Номер введенного паттерна
  TreeNode *parent = nullptr; // Родитель ноды
  TreeNode *suffixLink = nullptr; // Суффиксная ссылка
  unordered_map <char, TreeNode*> children; // Потомок ноды
};

class Trie {
public:
  Trie() : root('\0') {} // Конструктор бора

  void insert(const string &str) { root.insert(str); }
  auto find(const char c) { return root.find(c); }
  void makeAutomaton() { root.makeAutomaton(); }
```

```
private:
   TreeNode root; // Корень бора
};

auto AhoCorasick(const string &text, const vector <string> &patterns)
{
   Trie bor;
   set <pair<size_t, size_t>> result;

   for (const auto &pattern : patterns) // Заполняем бор введенными паттернами
      bor.insert(pattern);

   bor.makeAutomaton(); // Из полученного бора создаем автомат (путем добавления суффиксных ссылок)

   for (size_t j = 0; j < text.size(); j++) // Проходим циклом по строке, для каждого символа строки запускаем
поиск
      for (auto pos : bor.find(text[j])) // Проходим по всем найденным позициям, записываем в результат
         result.emplace(j - patterns[pos].size() + 2, pos + 1);

   return result;
}

int main()
{
   system("chcp 65001");

   string text;
   size_t n;
   cin >> text >> n;

   vector <string> patterns(n);

   for (size_t i = 0; i < n; i++)
      cin >> patterns[i];

   auto res = AhoCorasick(text, patterns);
   for (auto r : res)
      cout << r.first << ' ' << r.second << endl;

   return 0;
}
```

Приложение В

Код программы 2

```
#include <iostream>
#include <string>
#include <vector>
#include <queue>
#include <unordered_map>


using namespace std;

class TreeNode {
public:
  explicit TreeNode(char val) : value(val) {} // Конструктор ноды

  // Отладочная функция для печати бора
  void printTrie() {
    cout << "Бор сейчас:" << endl;

    queue<TreeNode *> queue;
    queue.push(this);

    while (!queue.empty()) {
      auto curr = queue.front();
      if (!curr->value)
        cout << "Корень:" << endl;
      else
        cout << curr->dbgStr << ':' << endl;

      if (curr->suffixLink)
        cout << "\tСуффиксная ссылка: " << (curr->suffixLink == this ? "Root" : curr->suffixLink->dbgStr) << endl;

      if (curr->parent && curr->parent->value)
        cout << "\tРодитель: " << curr->parent->dbgStr << endl;
      else if (curr->parent)
        cout << "\tРодитель: Корень" << endl;

      if (!curr->children.empty()) cout << "\tПотомок: ";
      for (auto child : curr->children) {
        cout << child.second->value << ' ';
        queue.push(child.second);
      }

      queue.pop();
      cout << endl;
    }
    cout << endl;

  }

  // Вставка подстроки в бор
  void insert(const string &str, size_t pos, size_t size) {
    auto curr = this;

    for (char c : str) { // Идем по строке
      // Если из текущей вершины по текущему символу не было создано перехода
      if (curr->children.find(c) == curr->children.end()) {
        // Создаем переход
        curr->children[c] = new TreeNode(c);
        curr->children[c]->parent = curr;
        curr->children[c]->dbgStr += curr->dbgStr + c;
      }
      // Спускаемся по дереву
```

```
      curr = curr->children[c];
    }

    cout << "Вставляем строку: " << str << endl;
    printTrie();

    curr->substringEntries.emplace_back(pos, size);
}

vector <pair<size_t, size_t>> find(const char c)
{
    static const TreeNode *curr = this; // Вершина, с которой необходимо начать следующий вызов
    cout << "Ищем '" << c << "' из: " << (curr->dbgStr.empty() ? "Корень" : curr->dbgStr) << endl; // Дебаг

    for (; curr != nullptr; curr = curr->suffixLink) {
        // Обходим потомков, если искомый символ среди потомков не найден, то
        // переходим по суффиксной ссылке для дальнейшего поиска
        for (auto child : curr->children)
            if (child.first == c) { // Если символ потомка равен искомому
                curr = child.second; // Значение текущей вершины переносим на этого потомка
                // вектор пар, состоящих из начала безмасочной подстроки в маске и её длины
                vector <pair<size_t, size_t>> found;

                // Обходим суффиксы, т.к. они тоже могут быть терминальными вершинами
                for (auto temp = curr; temp->suffixLink; temp = temp->suffixLink)
                    for (auto el : temp->substringEntries)
                        found.push_back(el);

                cout << "Символ '" << c << "' найден!" << endl; // Дебаг
                return found;
            }

        // Дебаг
        if (curr->suffixLink) {
            cout << "Переходим по суффиксной ссылке: ";
            cout << (curr->suffixLink->dbgStr.empty() ? "Корень" : curr->suffixLink->dbgStr) << endl;
        }
    }
    cout << "Символ '" << c << "' не найден!" << endl; // Дебаг

    curr = this;
    return {};
}

// Функция для построения недетерминированного автомата
void makeAutomaton() {
    cout << "Строим автомат: " << endl;

    queue<TreeNode *> queue; // Очередь для обхода в ширину

    for (auto child : children) // Заполняем очередь потомками корня
        queue.push(child.second);

    while (!queue.empty()) {
        auto curr = queue.front(); // Обрабатываем верхушку очереди

        // Для дебага
        cout << curr->dbgStr << ':' << endl;
        if (curr->parent && curr->parent->value)
            cout << "\tРодитель: " << curr->parent->dbgStr << endl;
        else if (curr->parent)
            cout << "\tРодитель: Корень" << endl;

        if (!curr->children.empty())
            cout << "\tПотомок: ";
```

```
        //

        // Заполняем очередь потомками текущей верхушки
        for (auto child : curr->children) {
            cout << child.second->value << ' '; // Дебаг
            queue.push(child.second);
        }

        // Дебаг
        if (!curr->children.empty())
            cout << endl;

        queue.pop();
        auto p = curr->parent; // Ссылка на родителя обрабатываемой вершины
        char x = curr->value; // Значение обрабатываемой вершины
        if (p) p = p->suffixLink; // Если родитель существует, то переходим по суффиксной ссылке

        // Пока можно переходить по суффиксной ссылке или пока
        // не будет найден переход в символ обрабатываемой вершины
        while (p && p->children.find(x) == p->children.end())
            p = p->suffixLink; // Переходим по суффиксной ссылке

        // Суффиксная ссылка для текущей вершины равна корню, если не смогли найти переход
        // в дереве по символу текущей вершины, иначе равна найденной вершине
        curr->suffixLink = p ? p->children[x] : this;
        // Дебаг
        cout << "\tСуффиксная ссылка: " << (curr->suffixLink == this ? "Корень" : curr->suffixLink->dbgStr) << endl
<< endl;
    }

    // Дебаг
    cout << endl;
    printTrie();
  }

  ~TreeNode()
  {
    for (auto child : children)
      delete child.second;
  }

private:
  string dbgStr = ""; // Для отладки
  char value; // Значение ноды
  TreeNode *parent = nullptr; // Родитель ноды
  TreeNode *suffixLink = nullptr; // Суффиксная ссылка
  unordered_map <char, TreeNode*> children; // Потомок ноды
  vector <pair<size_t, size_t>> substringEntries;
};

class Trie {
public:
  Trie() : root('\0') {}

  void insert(const string &str, size_t pos, size_t size)
  {
    root.insert(str, pos, size);
  }

  auto find(const char c)
  {
    return root.find(c);
  }

  void makeAutomaton()
```

```
    {
        root.makeAutomaton();
    }

private:
    TreeNode root;
};

auto AhoCorasick(const string &text, const string &mask, char joker) {
    Trie bor;
    vector <size_t> result;
    vector <size_t> midArr(text.size()); // Массив для хранения кол-ва попаданий безмасочных подстрок в
текст
    string pattern;
    size_t numSubstrs = 0; // Количество безмасочных подстрок

    for (size_t i = 0; i <= mask.size(); i++) { // Заполняем бор безмасочными подстроками маски
        char c = (i == mask.size()) ? joker : mask[i];
        if (c != joker)
            pattern += c;
        else if (!pattern.empty()) {
            numSubstrs++;
            bor.insert(pattern, i - pattern.size(), pattern.size());
            pattern.clear();
        }
    }

    bor.makeAutomaton();

    for (size_t j = 0; j < text.size(); j++)
        for (auto pos : bor.find(text[j])) {
            // На найденной терминальной вершине вычисляем индекс начала маски в тексте
            int i = int(j) - int(pos.first) - int(pos.second) + 1;
            if (i >= 0 && i + mask.size() <= text.size())
                midArr[i]++; // Увеличиваем её значение на 1
        }

    for (size_t i = 0; i < midArr.size(); i++) {
        // Индекс, по которым промежуточный массив хранит количество
        // попаданий безмасочных подстрок в текст, есть индекс начала вхождения маски
        // в текст, при условии, что кол-во попаданий равно кол-ву подстрок б/м
        if (midArr[i] == numSubstrs) {
            result.push_back(i + 1);

            // ИНДИВИДУАЛИЗАЦИЯ
            // для пропуска пересечений, после найденного индекса, увеличиваем его на длину маски
            i += mask.size() - 1;
        }
    }

    return result;
}

int main()
{
    system("chcp 65001");

    string text, mask;
    char joker;
    cin >> text >> mask >> joker;

    for (auto ans : AhoCorasick(text, mask, joker))
        cout << ans << endl;
```

```
    return 0;
}
```