

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**  
**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)**  
**Кафедра МО ЭВМ**

**ОТЧЕТ**  
**по лабораторной работе №4**  
**по дисциплине «Построение и анализ алгоритмов»**  
**Тема: Алгоритм Кнута-Морриса-Пратта**

Студент гр. 9382

\_\_\_\_\_

Кузьмин Д. И.

Преподаватель

\_\_\_\_\_

Фирсов М. А.

Санкт-Петербург

2021

### Цель работы.

Изучить алгоритм Кнута-Морриса-Пратта для поиска подстроки. Освоить навыки разработки программ, реализующих этот алгоритм.

### Задание.

1. Реализуйте алгоритм КМП и с его помощью для заданных шаблона  $P$  ( $|P| \leq 15000$ ) и текста  $T$  ( $|T| \leq 5000000$ ) найдите все вхождения  $P$  в  $T$ .

Вход:

Первая строка -  $P$

Вторая строка -  $T$

Выход:

индексы начал вхождений  $P$  в  $T$ , разделенных запятой, если  $P$  не входит в  $T$ , то вывести  $-1$

---

#### Sample Input:

ab

abab

---

#### Sample Output:

0, 2

2. Заданы две строки  $A$  ( $|A| \leq 5000000$ ) и  $B$  ( $|B| \leq 5000000$ ).

Определить, является ли  $A$  циклическим сдвигом  $B$  (это значит, что  $A$  и  $B$  имеют одинаковую длину и  $A$  состоит из суффикса  $B$ , склеенного с префиксом  $B$ ). Например, defabc является циклическим сдвигом abcdef.

Вход:

Первая строка -  $A$

Вторая строка -  $B$

Выход:

Если  $A$  является циклическим сдвигом  $B$ , индекс начала строки  $B$  в  $A$ , иначе вывести  $-1$ . Если возможно несколько сдвигов вывести первый индекс.

---

#### Sample Input:

defabc

abcdef

---

#### Sample Output:

3

## **Основные теоретические положения.**

Алгоритм Кнута-Морриса-Пратта — эффективный алгоритм, осуществляющий поиск подстроки в строке. Время работы алгоритма линейно зависит от объёма входных данных, то есть разработать асимптотически более эффективный алгоритм невозможно.

## **Описание функций и структур данных.**

- 1) В качестве строк использовался класс `std::string`
- 2) `std::vector<int> countPrefixFunction(std::string str)` – вычисление префикс-функции для строки, `str` – строка для которой вычисляется префикс-функция; возвращаемое значение – вектор из длин максимальных префиксов, являющихся также суффиксами для подстрок `str`, индексы соответствуют длинам подстрок
- 3) `std::vector<int> findPatternKMP(std::string text, std::string pattern)` – поиск подстроки с помощью алгоритма Кнута-Морриса-Пратта. `Text` – текст, в котором ищется подстрока, `pattern` – подстрока. Возвращаемое значение – вектор из индексов вхождений подстроки в текст, либо -1, если подстрока в текст не входит.
- 4) `int circularShift(std::string shifted, std::string original)` – проверка, является ли строка циклическим сдвигом другой. `Shifted` – сдвинутая строка, `original` – исходная строка. Возвращаемое значение – индекс вхождения префикса исходной строки в сдвинутую и -1, если строка сдвигом не является.

## **Описание алгоритма (вычисление префикс-функции)**

- 1) Создается вектор длины `n`, заполняемый нулями. В нем будут храниться максимальные префикс-суффиксы для различных префиксов строки.
- 2) Далее следует проверка первой подстроки – ей будет являться подстрока длины 2, тогда сравниваются ее первый и последний символ и если они совпадают, то значение максимального префикс-суффикса для данной подстроки становится равным 1.

3) Далее идет проверка следующей подстроки. Ее максимальный префикс-суффикс может получиться из дополнения уже имеющегося префикса-суффикса. Проверяется следующий за предыдущим максимальным префиксом-суффиксом символ и если он совпадает с последним символом текущей подстроки, то макс. префикс можно увеличить еще на один. Если не совпадает, то рассматриваемый префикс-суффикс для дополнения меняется. Им становится максимальный префикс-суффикс рассмотренного префикса-суффикса. Повторяются аналогичные действия пока не будет найдено совпадение символов (следующего за рассматриваемым префиксом и последним в текущей подстроке), тогда в вектор максимальных префиксов-суффиксов кладется длина рассматриваемого префикса, увеличенного на 1. Или когда рассматриваемый префикс не будет пустым. Если пуст, то при несовпадении первого символа с последним символом данной подстроки длине максимального префикса-суффикса текущей подстроки присваивается 0.

4) В результате получится вектор, состоящий из максимальных префиксов-суффиксов для префиксов исходной строки.

Сложность по времени можно оценить  $O(n)$ , по памяти –  $O(n)$

### **Описание алгоритма (поиск подстроки)**

1) На первом шаге вычисляется префикс-функция подстроки. Заводится переменная, показывающая количество совпавших символов на текущем шаге

2) Далее идет по циклу проверка символов (следующий за совпавшей частью и текущий символ в цикле). Каждый совпавший символ увеличивает длину совпадающей части на 1.

3) В случае несовпадения символов длина совпадающей части становится равной максимальному префикс-суффиксу этой части.

4) Идет повтор 2 и 3го пункта пока длина совпадающей части не станет равна длине подстроки (это значит подстрока нашлась) или когда не закончится цикл, рассматривающий символы(это значит строка не нашлась).

Сложность по времени можно оценить  $O(n)$ , по памяти –  $O(n)$

### Описание алгоритма (определение циклического сдвига)

1) Строка 1 будет являться циклическим сдвигом строки 2, если строка 2 будет содержаться в удвоенной строке 1.

2) Запускается алгоритм КМП поиска строки 2 в строке, состоящей из двух строк 1 и если она находится, значит строка 1 – циклический сдвиг строки 2.

Сложность по времени можно оценить  $O(n)$ , по памяти –  $O(n)$

Исходный код см. в приложении А.

### Тестирование

Результаты тестирования представлены в табл. 1. и табл. 2.

Таблица 1 — результаты тестирования алгоритма поиска подстроки.

№ п/п	Входные данные	Выходные данные	Комментарий
1	ab abab	0,2	<u>ab</u> ab ab <u>ab</u>
2	ab abhkabab	0,4,6	<u>ab</u> hkabab abhk <u>ab</u> ab abhkab <u>ab</u>
3	bb bbbb	0,1,2	<u>bb</u> bb bb <u>bb</u> bb <u>bb</u>
4	aa ababa	-1	Такой подстроки в ababa нет
5	aaa aaa	0	Строки совпадают

Таблица 2 — результаты тестирования алгоритма определения циклического сдвига

№ п/п	Входные данные	Выходные данные	Комментарий
1	defabc abcdef	3	Строка defabc получится если abcdef сдвинуть на 3 символа
2	aaaaab abaaaa	4	Строка aaaaaab получится если abaaaa сдвинуть на 4 символа вправо
3	bbb bbb	0	Одинаковые строки являются частным случаем циклического сдвига
4	aab ba	-1	Длина строк не совпадает
5	abcde acbde	-1	Строку abcde нельзя получить из циклического сдвига acbde

### **Выводы.**

Был изучен принцип алгоритма Кнута-Морриса-Пратта. Получены навыки разработки программ, реализующих этот алгоритм.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А. ИСХОДНЫЙ КОД ПРОГРАММЫ

```
#include <iostream>
#include <string>
#include <vector>
#define INFO

//вычисление префикс-функции
std::vector<int> countPrefixFunction(std::string str) {

    int m = str.size();
    //вектор из значений максимальных префикс-суффиксов
#ifdef INFO
    std::cout << "Вычисление префикс-функции для "<< str<<"\n";
#endif
    std::vector<int> p(str.size());
    p[0] = 0;

    //итерация по строке
    for (int i = 1; i < m; i++) {

        //длина макс. префикс-суффикса текущего префикс-суффикса

        int len = p[i - 1];
#ifdef INFO
        std::cout << "Текущая подстрока " << str.substr(0, i + 1) <<
"\n";
        if (len > 0)
            std::cout << "Префикс предыдущей подстроки, который
возможно дополнить: " << str.substr(0, len) << "\n";
        else
            std::cout << "Префикс предыдущей подстроки является
нулевым\n";
#endif

        //цикл, который проверит все символы-кандидаты на составление
        префикса и дойдет до нуля, если среди них нет подходящих
        while (1){

#ifdef INFO
            std::string pre = "_";
            if (len > 0)
                pre = str.substr(0, len);
            std::cout << "Пара-кандидат на дополнение префикса " <<
pre << " : " << str[len] << ", " << str[i] << "\n";
#endif

            //условие выхода из цикла
            if (len == 0 || str[len] == str[i]) break;
```

```

        //берется следующий возможный префикс-суффикс
        len = p[len - 1];

#ifdef INFO
        pre = "_";
        if (len > 0)
            pre = str.substr(0, len);
        std::cout << "Невозможно дополнить текущий префикс,
переход к префиксу " << pre << "\n";
#endif

    }
    //увеличение длины префикса
    if (str[len] == str[i])
        len += 1;

    p[i] = len;
#ifdef INFO
    std::cout << "Получен префикс длины " << len << " для
подстроки длины " << i + 1 << "\n\n";
#endif

}

#ifdef INFO
    std::cout << "Полученная префикс-функция: ";
    for (auto& it : p)
        std::cout << it << " ";
    std::cout << "\n";
#endif
    return p;

}

//поиск подстроки
std::vector<int> findPatternKMP(std::string text, std::string pattern){

    int n = text.size();
    int m = pattern.size();
#ifdef INFO
    std::cout << "Поиск подстроки по алгоритму Кнута-Морриса-Пратта\n";
    std::cout << "Текст - " << text << "\nСтрока: " << pattern <<
"\n\n";
#endif
    std::vector<int> indexes;
    std::vector<int> pattern_prefixes = countPrefixFunction(pattern);
    int match = 0;
#ifdef INFO
    std::cout << "Переход к поиску подстроки\n\n";
#endif

    for (int i = 0; i < n; i++) {
#ifdef INFO
        std::cout << "Длина текущего совпадения: " << match << "\n";

```



```

        std::cout << "Символ текста: " << text[i] << "\nСимвол искомой
строки: " << pattern[match % m] << "\n\n";
    #endif

    //обновление совпадающей части
    while (match > 0 && pattern[match] != text[i]){
#ifdef INFO
        std::string pre = "_";
        int newMatch = pattern_prefixes[match - 1];
        if (newMatch > 0)
            pre = pattern.substr(0, newMatch);
        std::cout << "Обновление совпадающей части " <<
pattern.substr(0, match) << " -> " << pre << "\n";
    #endif

        match = pattern_prefixes[match - 1];
    }

    //если символы на текущей позиции в строках совпадают
    //длина совпадения увеличивается
    if (pattern[match] == text[i]) {
#ifdef INFO
        std::cout << "Символы совпадают. Увеличение длины
совпадающей части\n\n";
    #endif

        match++;
    }
    //если не совпадает, то она становится равна длине префикса
    else if (match != 0) {
#ifdef INFO
        std::cout << "Найден несовпадающий символ. Изменение
длины совпадающей части\n\n";
    #endif

        match = pattern_prefixes[match - 1];
    }

    //если в какой-то момент длина совпадения станет равной длине
строки
    if (match == m) {
#ifdef INFO
        std::cout << "Найдено совпадение\nИндекс начала искомой
строки в тексте: " << i - match + 1 << "\n\n";
    #endif

        indexes.push_back(i - match + 1);
    }

#ifdef INFO
    if (match == 0)
        std::cout << "Найден несовпадающий символ. Длина совпадения
остается = 0\n\n";
    #endif

```

```

    }
#ifdef INFO
    std::cout << "Алгоритм завершен\n";
#endif
    return indexes;
}

//вывод индексов вхождений подстроки
void printIndexes(std::vector<int> indexes){

    if (!indexes.empty()) {
        int _len = indexes.size() - 1;
        for (int i = 0; i < _len; i++)
            std::cout << indexes[i] << ", ";
        std::cout << indexes[_len];
        return;
    }
    std::cout << "-1";
}

//проверка циклического сдвига
int circularShift(std::string shifted, std::string original) {

    if (shifted.size() != original.size())
        return -1;
#ifdef INFO
    std::cout << "Проверка циклического сдвига. \n\n";
#endif
    std::vector<int> indexes = findPatternKMP(shifted + shifted,
original);
    if (!indexes.empty())
        return indexes[0];

    return -1;

}

//вывод результата проверки циклического сдвига
void doCircularShiftCheck() {
    std::string s1;
    std::string s2;
    std::cin >> s2 >> s1;
    int index = circularShift(s2, s1);
#ifdef INFO
    if (index != -1) {
        std::cout << "Строка " << s2 << " является циклическим сдвигом
строки " << s1 << "\n";
        std::cout << "Индекс начала вхождения: ";
    }
    else {
        std::cout << "Строка " << s2 << " не является является
циклическим сдвигом строки " << s1 << "\n";
    }
}

```

```

        std::cout << "Результат: ";
    }
#endif
    std::cout << index<<"\n";
}
//вывод результата алгоритма КМП
void doKMPSearch() {
    std::string s1;
    std::string s2;
    std::cin >> s2 >> s1;
    std::vector<int> indexes = findPatternKMP(s1, s2);
#ifdef INFO
    if (!indexes.empty()) {

        std::cout << "Индексы вхождений строки " << s2 << " в "
<<s1<<": ";
    }
    else {
        std::cout << "Строка " << s2 << " не входит в" << s1 << "\n";
        std::cout << "Результат: ";
    }
}
#endif
    printIndexes(indexes);
    std::cout<<"\n";
}
int main() {

    setlocale(LC_ALL, "rus");
    doKMPSearch();
    //doCircularShiftCheck();
    return 0;
}

```