МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет ИТМО»

Факультет программной инженерии и компьютерной техники

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1.2

по дисциплине
«Информационная безопасность»
Криптография. Блочное симметричное шифрование.

Вариант №5б

Студент:

Воробьев К.О.

Группа P34302

Преподаватель:

Фамилия И.О.

Санкт-Петербург, 2023

Цель работы

Изучение структуры и основных принципов работы современных алгоритмов блочного симметричного шифрования, приобретение навыков программной реализации блочных симметричных шифров.

Вариант задания №5б:

Реализовать систему симметричного блочного шифрования, позволяющую шифровать и дешифровать файл на диске с использованием заданного блочного шифра в заданном режиме шифрования. Перечень блочных шифров и режимов шифрования приведен в таблице. Алгоритм – Rijndael, режим шифрования – CBC.

Листинг разработанной программы

```
import os


# Функция чтения данных из файла
def read_file(filename):
    with open(filename, 'r', encoding='utf-8') as file:
        text = file.read()
    return text


# Сохранить данные в файл
def save_text_to_file(filename, encrypted_file):
    with open(filename, 'w', encoding='utf-8') as output_file:
        output_file.write(encrypted_file)


# Разделить строку на блоки по length символов
def split_string_by_length(input_string, length):
    return [input_string[i:i + length] for i in range(0,
len(input_string), length)]


# Функция генерации вектора инициализации, состоящего из 16 байт
def initialize_iv():
    return os.urandom(16).hex()


# Функция преобразования 16-байтный блок текста в матрицу типа int
def text_to_int_matrix(text):
    hex_list = [int(hex(ord(char))[2:], 16) for char in text]
    matrix = [[0] * 4 for _ in range(4)]
    for i in range(4):
        for j in range(4):
            matrix[j][i] = hex_list[i * 4 + j]
    return matrix
```

```
# Функция преобразование матрицы типа int к hex-строке
def int_matrix_to_hex_string(int_matrix):
    hex_string = ""
    for i in range(4):
        for j in range(4):
            hex_element = hex(int_matrix[j][i])[2:].zfill(2)
            hex_string += hex_element
    return hex_string


# Функция преобразования матрицы типа int к тексту
def int_matrix_to_text(int_matrix):
    text = ""
    for i in range(4):
        for j in range(4):
            char_code = int_matrix[j][i]
            char = chr(char_code)
            text += char
    return text


# Функция преобразования hex строки к матрице типа int
def hex_string_to_int_matrix(hex_string):
    matrix = [[0] * 4 for _ in range(4)]

    for i in range(4):
        for j in range(4):
            start = 2 * (4 * i + j)
            end = start + 2
            byte_hex = hex_string[start:end]
            matrix[j][i] = int(byte_hex, 16)

    return matrix


# Выполняет XOR операцию между двумя матрицами (между блоком данных и
ключом)
def add_round_key(state, round_key):
    result_matrix = [[0] * 4 for _ in range(4)]

    for i in range(4):
        for j in range(4):
            result_matrix[i][j] = state[i][j] ^ round_key[i][j]

    return result_matrix


# Заменяет каждый байт состояния на соответствующий элемент из S-Box
def sub_bytes(state):
    s_box = [
        0x63, 0x7C, 0x77, 0x7B, 0xF2, 0x6B, 0x6F, 0xC5, 0x30, 0x01, 0x67,
0x2B, 0xFE, 0xD7, 0xAB, 0x76,
```

```
        0xCA, 0x82, 0xC9, 0x7D, 0xFA, 0x59, 0x47, 0xF0, 0xAD, 0xD4, 0xA2,
0xAF, 0x9C, 0xA4, 0x72, 0xC0,
        0xB7, 0xFD, 0x93, 0x26, 0x36, 0x3F, 0xF7, 0xCC, 0x34, 0xA5, 0xE5,
0xF1, 0x71, 0xD8, 0x31, 0x15,
        0x04, 0xC7, 0x23, 0xC3, 0x18, 0x96, 0x05, 0x9A, 0x07, 0x12, 0x80,
0xE2, 0xEB, 0x27, 0xB2, 0x75,
        0x09, 0x83, 0x2C, 0x1A, 0x1B, 0x6E, 0x5A, 0xA0, 0x52, 0x3B, 0xD6,
0xB3, 0x29, 0xE3, 0x2F, 0x84,
        0x53, 0xD1, 0x00, 0xED, 0x20, 0xFC, 0xB1, 0x5B, 0x6A, 0xCB, 0xBE,
0x39, 0x4A, 0x4C, 0x58, 0xCF,
        0xD0, 0xEF, 0xAA, 0xFB, 0x43, 0x4D, 0x33, 0x85, 0x45, 0xF9, 0x02,
0x7F, 0x50, 0x3C, 0x9F, 0xA8,
        0x51, 0xA3, 0x40, 0x8F, 0x92, 0x9D, 0x38, 0xF5, 0xBC, 0xB6, 0xDA,
0x21, 0x10, 0xFF, 0xF3, 0xD2,
        0xCD, 0x0C, 0x13, 0xEC, 0x5F, 0x97, 0x44, 0x17, 0xC4, 0xA7, 0x7E,
0x3D, 0x64, 0x5D, 0x19, 0x73,
        0x60, 0x81, 0x4F, 0xDC, 0x22, 0x2A, 0x90, 0x88, 0x46, 0xEE, 0xB8,
0x14, 0xDE, 0x5E, 0x0B, 0xDB,
        0xE0, 0x32, 0x3A, 0x0A, 0x49, 0x06, 0x24, 0x5C, 0xC2, 0xD3, 0xAC,
0x62, 0x91, 0x95, 0xE4, 0x79,
        0xE7, 0xC8, 0x37, 0x6D, 0x8D, 0xD5, 0x4E, 0xA9, 0x6C, 0x56, 0xF4,
0xEA, 0x65, 0x7A, 0xAE, 0x08,
        0xBA, 0x78, 0x25, 0x2E, 0x1C, 0xA6, 0xB4, 0xC6, 0xE8, 0xDD, 0x74,
0x1F, 0x4B, 0xBD, 0x8B, 0x8A,
        0x70, 0x3E, 0xB5, 0x66, 0x48, 0x03, 0xF6, 0x0E, 0x61, 0x35, 0x57,
0xB9, 0x86, 0xC1, 0x1D, 0x9E,
        0xE1, 0xF8, 0x98, 0x11, 0x69, 0xD9, 0x8E, 0x94, 0x9B, 0x1E, 0x87,
0xE9, 0xCE, 0x55, 0x28, 0xDF,
        0x8C, 0xA1, 0x89, 0x0D, 0xBF, 0xE6, 0x42, 0x68, 0x41, 0x99, 0x2D,
0x0F, 0xB0, 0x54, 0xBB, 0x16,
    ]

    for i in range(4):
        for j in range(4):
            byte = state[i][j]
            row = (byte >> 4) & 0x0F
            col = byte & 0x0F
            state[i][j] = s_box[row * 16 + col]

    return state


# Заменяет каждый элемент состояния на инвертированный s-box
def inv_sub_bytes(state):
    inv_s_box = [
        0x52, 0x09, 0x6A, 0xD5, 0x30, 0x36, 0xA5, 0x38, 0xBF, 0x40, 0xA3,
0x9E, 0x81, 0xF3, 0xD7, 0xFB,
        0x7C, 0xE3, 0x39, 0x82, 0x9B, 0x2F, 0xFF, 0x87, 0x34, 0x8E, 0x43,
0x44, 0xC4, 0xDE, 0xE9, 0xCB,
        0x54, 0x7B, 0x94, 0x32, 0xA6, 0xC2, 0x23, 0x3D, 0xEE, 0x4C, 0x95,
0x0B, 0x42, 0xFA, 0xC3, 0x4E,
        0x08, 0x2E, 0xA1, 0x66, 0x28, 0xD9, 0x24, 0xB2, 0x76, 0x5B, 0xA2,
0x49, 0x6D, 0x8B, 0xD1, 0x25,
        0x72, 0xF8, 0xF6, 0x64, 0x86, 0x68, 0x98, 0x16, 0xD4, 0xA4, 0x5C,
```

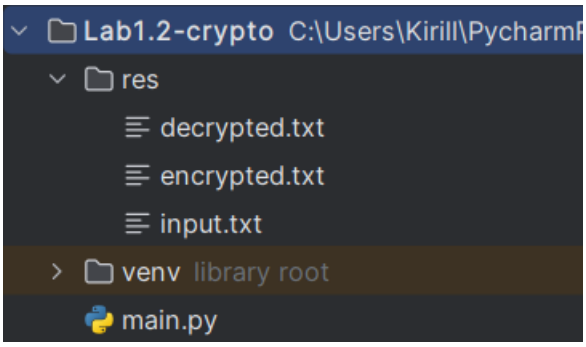
```
0xCC, 0x5D, 0x65, 0xB6, 0x92,
        0x6C, 0x70, 0x48, 0x50, 0xFD, 0xED, 0xB9, 0xDA, 0x5E, 0x15, 0x46,
0x57, 0xA7, 0x8D, 0x9D, 0x84,
        0x90, 0xD8, 0xAB, 0x00, 0x8C, 0xBC, 0xD3, 0x0A, 0xF7, 0xE4, 0x58,
0x05, 0xB8, 0xB3, 0x45, 0x06,
        0xD0, 0x2C, 0x1E, 0x8F, 0xCA, 0x3F, 0x0F, 0x02, 0xC1, 0xAF, 0xBD,
0x03, 0x01, 0x13, 0x8A, 0x6B,
        0x3A, 0x91, 0x11, 0x41, 0x4F, 0x67, 0xDC, 0xEA, 0x97, 0xF2, 0xCF,
0xCE, 0xF0, 0xB4, 0xE6, 0x73,
        0x96, 0xAC, 0x74, 0x22, 0xE7, 0xAD, 0x35, 0x85, 0xE2, 0xF9, 0x37,
0xE8, 0x1C, 0x75, 0xDF, 0x6E,
        0x47, 0xF1, 0x1A, 0x71, 0x1D, 0x29, 0xC5, 0x89, 0x6F, 0xB7, 0x62,
0x0E, 0xAA, 0x18, 0xBE, 0x1B,
        0xFC, 0x56, 0x3E, 0x4B, 0xC6, 0xD2, 0x79, 0x20, 0x9A, 0xDB, 0xC0,
0xFE, 0x78, 0xCD, 0x5A, 0xF4,
        0x1F, 0xDD, 0xA8, 0x33, 0x88, 0x07, 0xC7, 0x31, 0xB1, 0x12, 0x10,
0x59, 0x27, 0x80, 0xEC, 0x5F,
        0x60, 0x51, 0x7F, 0xA9, 0x19, 0xB5, 0x4A, 0x0D, 0x2D, 0xE5, 0x7A,
0x9F, 0x93, 0xC9, 0x9C, 0xEF,
        0xA0, 0xE0, 0x3B, 0x4D, 0xAE, 0x2A, 0xF5, 0xB0, 0xC8, 0xEB, 0xBB,
0x3C, 0x83, 0x53, 0x99, 0x61,
        0x17, 0x2B, 0x04, 0x7E, 0xBA, 0x77, 0xD6, 0x26, 0xE1, 0x69, 0x14,
0x63, 0x55, 0x21, 0x0C, 0x7D
    ]

    for i in range(4):
        for j in range(4):
            try:
                state[i][j] = inv_s_box[int(state[i][j], 16)]
            except TypeError:
                state[i][j] = inv_s_box[state[i][j]]

    return state


# Смещение байтов в строках блока данных. Первая строка остается без
изменений, вторая сдвигается на один байт влево, третья на два байта
влево, а четвертая на три байта влево.
def shift_rows(state):
    for i in range(4):
        state[i] = state[i][i:] + state[i][:i]
    return state


# Смещение байтов в строках блока данных. Первая строка остается без
изменений, вторая сдвигается на один байт вправо, третья на два байта
вправо, а четвертая на три байта вправо.
def inv_shift_rows(state):
    for i in range(1, 4):
        state[i] = state[i][-i:] + state[i][:-i]
    return state


# Умножение на элементы поля Галуа
```

```
def gf_multiply(a, b):
    p = 0
    for _ in range(8):
        if b & 1:
            p ^= a
        hi_bit_set = a & 0x80
        a <<= 1
        if hi_bit_set:
            a ^= 0x1b  # Constant for GF(2^8)
        b >>= 1

    p &= 0xFF
    return p


# Преобразование над столбцами состояния
def mix_columns(state):
    mix_matrix = [
        [0x02, 0x03, 0x01, 0x01],
        [0x01, 0x02, 0x03, 0x01],
        [0x01, 0x01, 0x02, 0x03],
        [0x03, 0x01, 0x01, 0x02],
    ]

    result = [[0] * 4 for _ in range(4)]

    for col in range(4):
        for row in range(4):
            result[row][col] = 0
            for i in range(4):
                # Умножение элемента блока данных на поля Галуа
                result[row][col] ^= gf_multiply(mix_matrix[row][i],
state[i][col])

    return result


# Обратные преобразования над столбцами состояния
def inv_mix_columns(state):
    inv_mix_columns_matrix = [
        [0x0e, 0x0b, 0x0d, 0x09],
        [0x09, 0x0e, 0x0b, 0x0d],
        [0x0d, 0x09, 0x0e, 0x0b],
        [0x0b, 0x0d, 0x09, 0x0e]
    ]

    new_state = [[0] * 4 for _ in range(4)]

    for col in range(4):
        for row in range(4):
            result = 0
            for i in range(4):
                result ^= gf_multiply(inv_mix_columns_matrix[row][i],
state[i][col])
```

```
            new_state[row][col] = int(hex(result)[2:].zfill(2), 16)

    return new_state


# Функция раундов шифрования
def encrypt_alg_round(state, key_matrix):
    for i in range(10):
        state = sub_bytes(state)
        state = shift_rows(state)
        if i != 9:
            state = mix_columns(state)
        state = add_round_key(state, key_matrix)

    return state


# Функция шифрования
def encrypt(text, key, iv):
    result = ""
    key_matrix = text_to_int_matrix(key)
    data_blocks = split_string_by_length(text, 16)
    for index, block in enumerate(data_blocks):
        if index == 0:
            round_key = text_to_int_matrix(iv)
        else:
            round_key = state
        text_matrix = text_to_int_matrix(block)
        state = add_round_key(text_matrix, round_key)
        state = encrypt_alg_round(state, key_matrix)
        result += int_matrix_to_hex_string(state)
    return result


# Функция раундов дешифрации
def decrypt_alg_round(state, key_matrix):
    for i in range(10):
        state = add_round_key(state, key_matrix)
        if i != 0:
            state = inv_mix_columns(state)
        state = inv_shift_rows(state)
        state = inv_sub_bytes(state)

    return state


# Функция дешифрации
def decrypt(encrypted_text, key, iv):
    result = ""
    key_matrix = text_to_int_matrix(key)
    iv_matrix = text_to_int_matrix(iv)
    data_blocks = split_string_by_length(encrypted_text, 32)
    data_blocks.reverse()
    for index, block in enumerate(data_blocks):
```

```
        state = hex_string_to_int_matrix(block)
        state = decrypt_alg_round(state, key_matrix)
        if index == 1:
            state = add_round_key(state, iv_matrix)
        else:
            state = add_round_key(state,
hex_string_to_int_matrix(data_blocks[index + 1]))
        result = int_matrix_to_text(state) + result
    return result


if __name__ == "__main__":
    input_text = read_file('res/input.txt')
    key = '0123456789abcdef'
    iv = initialize_iv()
    encrypted_text = encrypt(input_text, key, iv)
    save_text_to_file('res/encrypted.txt', encrypted_text)
    decrypted_text = decrypt(encrypted_text, key, iv)
    save_text_to_file('res/decrypted.txt', decrypted_text)
    print("Текст для шифрования:", input_text)
    print("Зашифрованный текст:", encrypted_text)
    print("Расшифрованный текст:", decrypted_text)
```

Результаты выполнения



input.txt

```
privetprivetprivprivetprivetpriv
```

encrypted.txt

```
199a1af6370e8e9c0fd213772ebde08179583d393fa42ce44a8fdf8bf2f9d4b5
```

decrypted.txt

```
privetprivetprivprivetprivetpriv
```

ключ шифрования

```
0123456789abcdef
```

Вывод

В ходе выполнения данной лабораторной работы я познакомился с методом блочного симметричного шифрования Rijndael (AES). Также, удалось реализовать программу, выполняющую шифрование данных файла на диске данным методом в режиме CBC.