ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ЗАЩИТА ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

Мольганов Андрей, И-19-2Р

Факультет Информационных Технологий

Евразийский Технологический Университет

Алматы, 2023

Введение

На данный момент времени, выпускная квалификационная работа состоит из трех глав:

1. Анализ предметной области
2. Проектирование аппаратно-программного комплекса
3. Оптимизация криптографического алгоритма

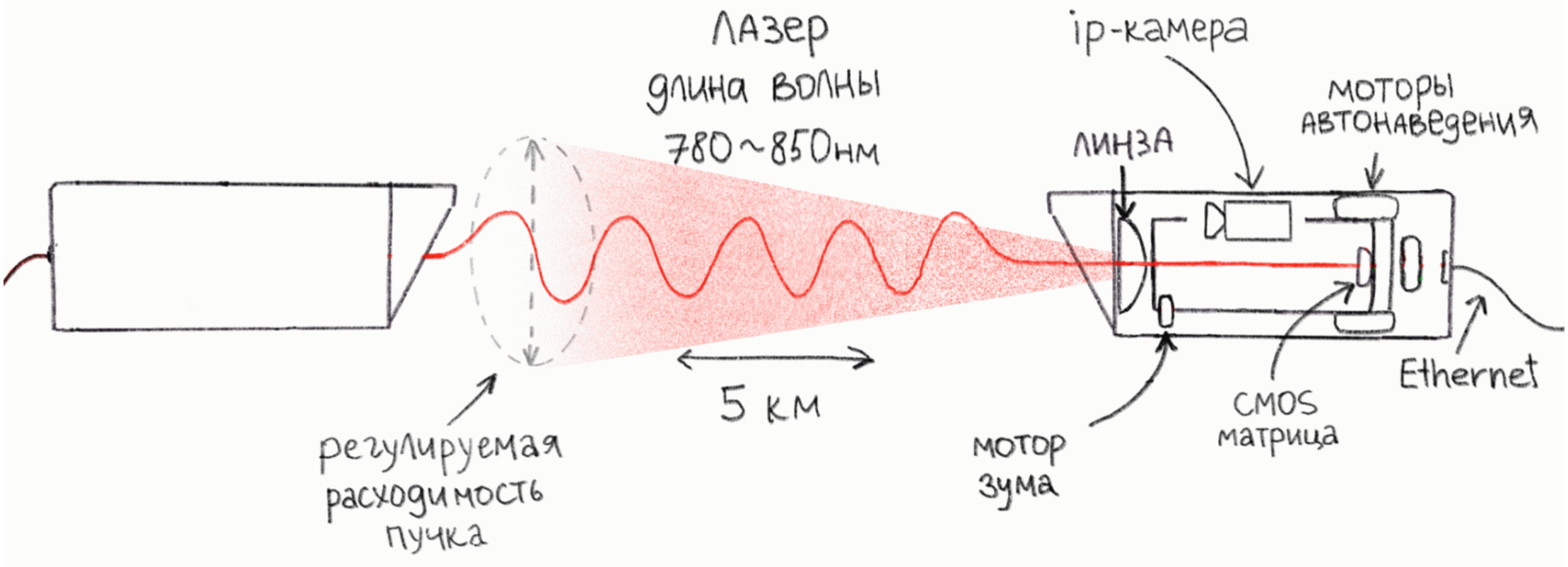
СОДЕРЖАНИЕ

Анализ предметной области

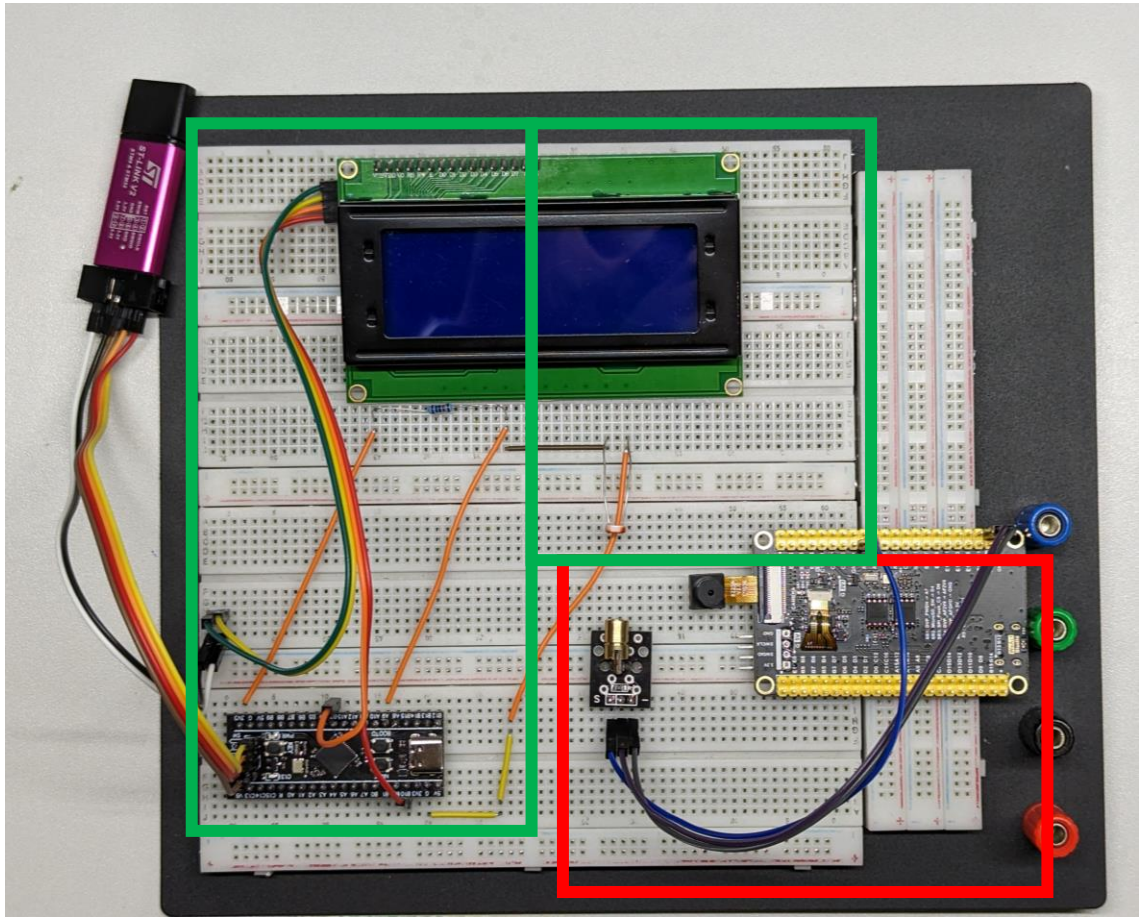
Анализ предметной области содержит сравнительный анализ текущей ситуации на телекоммуникационном рынке оборудования предназначенного для передачи и приема информации в открытом пространстве, иначе **FSO – Free-space optics**.

В качестве трансивера используется лазерный диод с длиной волны 940 нм, максимальным постоянным током не более 100 мА и импульсным током не более 1,5 А, мощность излучения до 40 мВт и углом горизонтальной развертки не более 34 градусов.

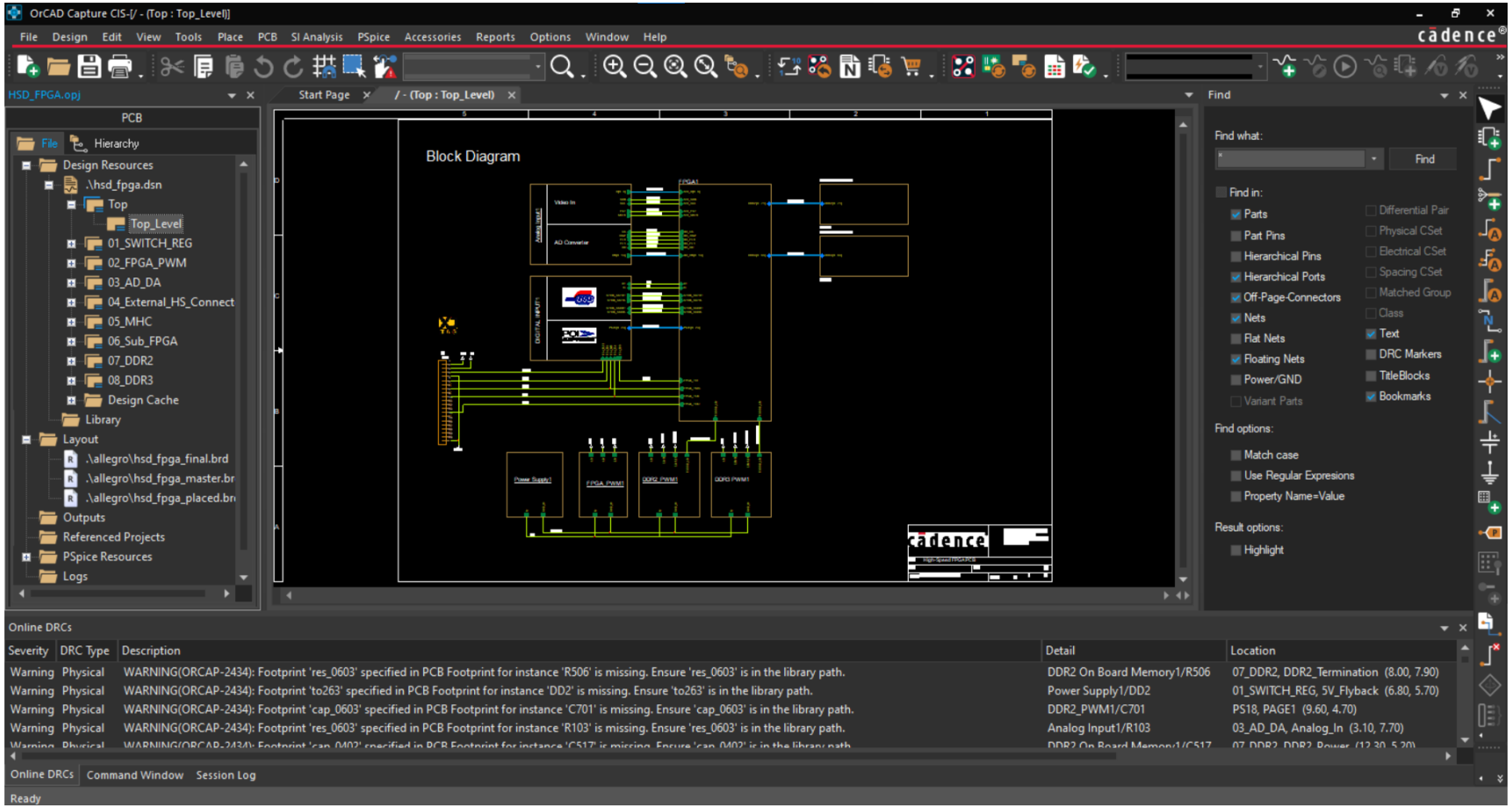
Анализ предметной области



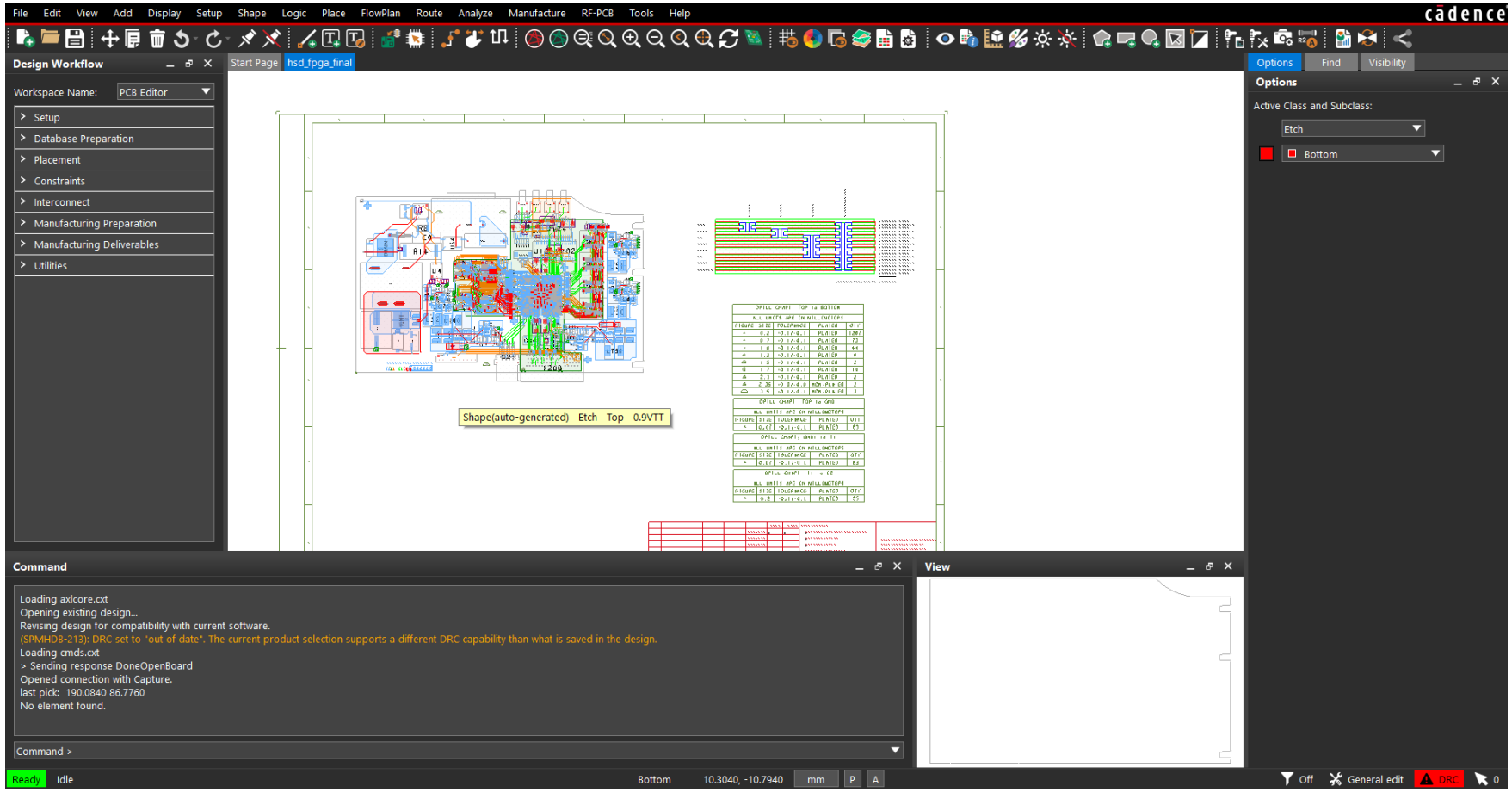
Анализ предметной области



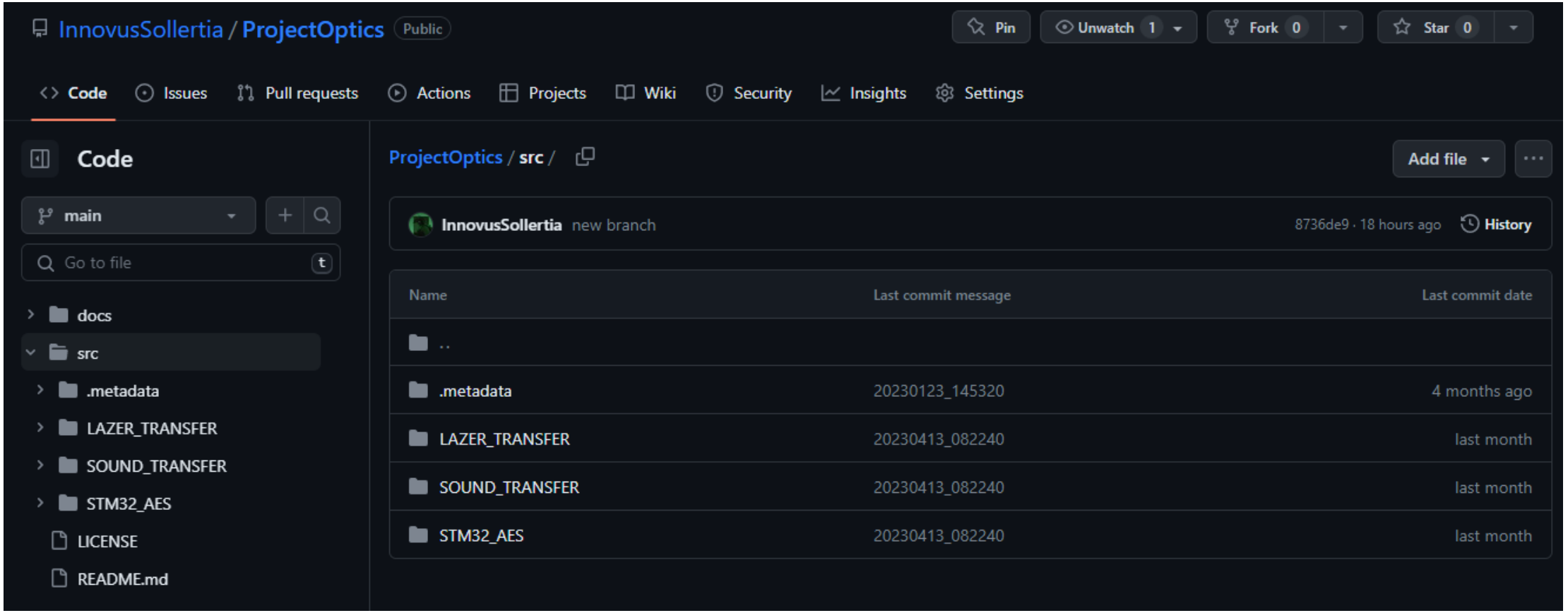
Проектирование аппаратного обеспечения комплекса



Проектирование аппаратного обеспечения комплекса



Проектирование программного обеспечения комплекса



src - Device Configuration Tool - STM32CubeIDE

File Edit Navigate Search Project Run Window Help

Project Explorer

- LAZER_TRANSFER
  - Binaries
  - Includes
  - Core
  - Drivers
  - Debug
  - LAZER_TRANSFER.ioc
  - LAZER_TRANSFER Debug
  - STM32H750VBTX_FLASH
  - STM32H750VBTX_RAM.lc
- SOUND_TRANSFER
  - Binaries
  - Includes
  - Core
  - Drivers
  - Debug
  - SOUND_TRANSFER.ioc
  - SOUND_TRANSFER Debu
  - STM32F411CEUX_FLASH.
  - STM32F411CEUX_RAM.lc

*LAZER_TRANSFER.ioc

LAZER_TRANSFER.ioc - Pinout & Configuration

Pinout & Configuration | Clock Configuration | Project Manager | Tools

Software Packs | Pinout

Categories | A->Z

- System Core
- Analog
- Timers
- Connectivity
- Multimedia
- Security
  - CRYP
  - HASH
  - RNG
- Computing
- Middleware and S...
- Trace and Debug

CRYP Mode and Configuration

Mode

Activated

Configuration

Reset Configuration

NVIC Settings | DMA Settings | Parameter Settings | User Constants

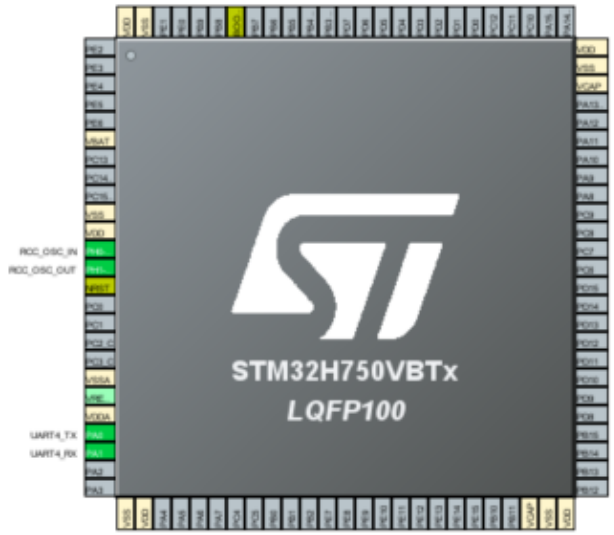
Configure the below parameters :

Search (Ctrl+F)

Algorithm
- Data encryption algorithm: AES ECB

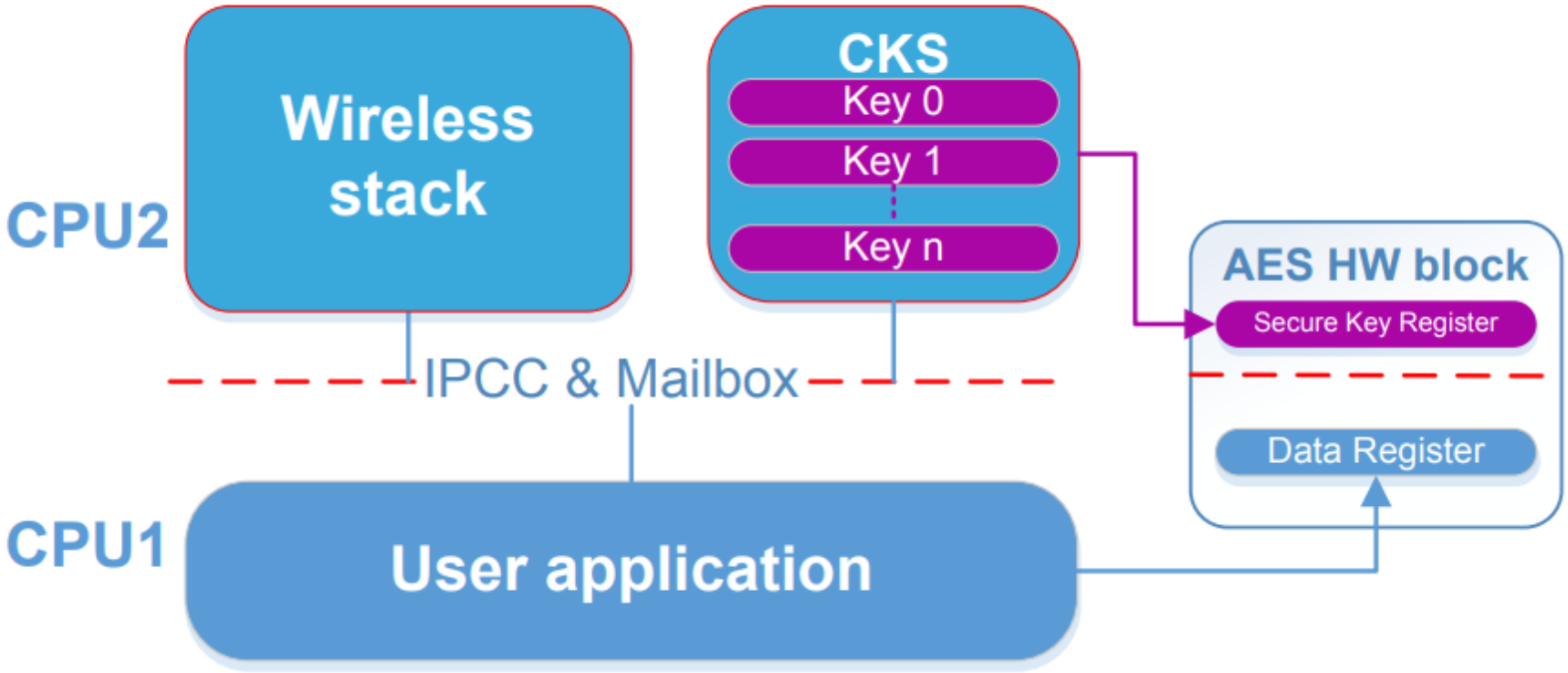
Parameters
- Data type: 32b(no swapping)
- Key size: 128b
- Encryption/Decryption key: 00000000 00000000 00000000 000...

Pinout view | System view



Оптимизация криптографического алгоритма AES-256

Figure 13. **Dual-core architecture with CKS service**



Оптимизация криптографического алгоритма AES-256

```
// Выключаем прерывания
__disable_irq();

HAL_NVIC_SetPriority(TIM4_IRQn, 2, 0);
HAL_NVIC_EnableIRQ(TIM4_IRQn);
__HAL_TIM_ENABLE_IT(&tim4, TIM_IT_UPDATE);

// Включаем таймеры

__HAL_TIM_ENABLE(&tim4);

// Включаем прерывания
__enable_irq();

HAL_GPIO_WritePin(GPIOC, GPIO_PIN_13, GPIO_PIN_RESET);

unsigned char openTextInput[16] = "abracadabra1234";
unsigned char openTextOutput[16] = { 0 };
unsigned char encryptedText[16] = { 0 };
unsigned char key[32] = "The quick brown fox jumps over";
```

```
// AES 256 ******************************************

for(uint32_t i = 0; i < sizeof(encryptedText); encryptedText[i++] = 0);

start = millis;
Encrypt(openTextInput, key, encryptedText, 256);
timMeasures[measures::AES256_ENCRYPT] = millis - start;

for(uint32_t i = 0; i < sizeof(openTextOutput); openTextOutput[i++] = 0);

start = millis;
Decrypt(encryptedText, key, openTextOutput, 256);
timMeasures[measures::AES256_DECRYPT] = millis - start;
```

Оптимизация криптографического алгоритма AES-256

```
#define blockSize 4
// Макрос для нахождения произведения x ({02}) и аргумента по модулю {1b}
#define xtime(x)   ((x<<1) ^ (((x>>7) & 1) * 0x1b))
// Макрос для умножения чисел в поле галуа (2^8)
#define Multiply(x,y) (((y & 1) * x) ^ ((y>>1 & 1) * xtime(x)) ^ ((y>>2 & 1) * xtime(xtime(x))) ^
#include "AES.h"

int rounds = 0;
int keyLength = 0;
//unsigned char plaintext[16];
//unsigned char encrypted[16];
//unsigned char state[4][4];
unsigned char roundKey[240];
unsigned char Key[32];
```

Оптимизация криптографического алгоритма AES-256

```
// Возвращает S-box значения
int get_SBox_Value(int num) {

    int sbox[256] = { 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 };
    return sbox[num];
}
```

```
// Возвращает обратные S-box значения
int get_SBox_Inverse(int num) {

    int rsbox[256] = { 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 };

    return rsbox[num];
}
```

Оптимизация криптографического алгоритма AES-256

```
// Таблица поиска для раундового массива слов
// Содержит значения, полученные из x, путем возведения в степень (i-1) по модулю ({02}), в поле Галуа (2^8)
int Rcon[255] = { 0x8d, 0x01, 0x02, 0x04, 0x08, 0x10, 0x20, 0x40, 0x80, 0x1b,
        0x36, 0x6c, 0xd8, 0xab, 0x4d, 0x9a, 0x2f, 0x5e, 0xbc, 0x63, 0xc6, 0x97,
        0x35, 0x6a, 0xd4, 0xb3, 0x7d, 0xfa, 0xef, 0xc5, 0x91, 0x39, 0x72, 0xe4,
        0xd3, 0xbd, 0x61, 0xc2, 0x9f, 0x25, 0x4a, 0x94, 0x33, 0x66, 0xcc, 0x83,
        0x1d, 0x3a, 0x74, 0xe8, 0xcb, 0x8d, 0x01, 0x02, 0x04, 0x08, 0x10, 0x20,
        0x40, 0x80, 0x1b, 0x36, 0x6c, 0xd8, 0xab, 0x4d, 0x9a, 0x2f, 0x5e, 0xbc,
        0x63, 0xc6, 0x97, 0x35, 0x6a, 0xd4, 0xb3, 0x7d, 0xfa, 0xef, 0xc5, 0x91,
        0x39, 0x72, 0xe4, 0xd3, 0xbd, 0x61, 0xc2, 0x9f, 0x25, 0x4a, 0x94, 0x33,
        0x66, 0xcc, 0x83, 0x1d, 0x3a, 0x74, 0xe8, 0xcb, 0x8d, 0x01, 0x02, 0x04,
        0x08, 0x10, 0x20, 0x40, 0x80, 0x1b, 0x36, 0x6c, 0xd8, 0xab, 0x4d, 0x9a,
        0x2f, 0x5e, 0xbc, 0x63, 0xc6, 0x97, 0x35, 0x6a, 0xd4, 0xb3, 0x7d, 0xfa,
        0xef, 0xc5, 0x91, 0x39, 0x72, 0xe4, 0xd3, 0xbd, 0x61, 0xc2, 0x9f, 0x25,
        0x4a, 0x94, 0x33, 0x66, 0xcc, 0x83, 0x1d, 0x3a, 0x74, 0xe8, 0xcb, 0x8d,
        0x01, 0x02, 0x04, 0x08, 0x10, 0x20, 0x40, 0x80, 0x1b, 0x36, 0x6c, 0xd8,
        0xab, 0x4d, 0x9a, 0x2f, 0x5e, 0xbc, 0x63, 0xc6, 0x97, 0x35, 0x6a, 0xd4,
        0xb3, 0x7d, 0xfa, 0xef, 0xc5, 0x91, 0x39, 0x72, 0xe4, 0xd3, 0xbd, 0x61,
        0xc2, 0x9f, 0x25, 0x4a, 0x94, 0x33, 0x66, 0xcc, 0x83, 0x1d, 0x3a, 0x74,
        0xe8, 0xcb, 0x8d, 0x01, 0x02, 0x04, 0x08, 0x10, 0x20, 0x40, 0x80, 0x1b,
        0x36, 0x6c, 0xd8, 0xab, 0x4d, 0x9a, 0x2f, 0x5e, 0xbc, 0x63, 0xc6, 0x97,
        0x35, 0x6a, 0xd4, 0xb3, 0x7d, 0xfa, 0xef, 0xc5, 0x91, 0x39, 0x72, 0xe4,
        0xd3, 0xbd, 0x61, 0xc2, 0x9f, 0x25, 0x4a, 0x94, 0x33, 0x66, 0xcc, 0x83,
        0x1d, 0x3a, 0x74, 0xe8, 0xcb };
```

Оптимизация криптографического алгоритма AES-256

```
// Выделение раундовых ключей из основного ключа
void Expand_Keys() {
    int i, j;
    unsigned char temp[4], k;

    // Использовать основной ключ для первого раунда
    for (i = 0; i < keyLength; i++) {
        roundKey[i * 4] = Key[i * 4];
        roundKey[i * 4 + 1] = Key[i * 4 + 1];
        roundKey[i * 4 + 2] = Key[i * 4 + 2];
        roundKey[i * 4 + 3] = Key[i * 4 + 3];
    }

    // Каждый последующий раундовый ключ выводится из ранее полученных раундовых ключей
    while (i < (blockSize * (rounds + 1))) {
        for (j = 0; j < 4; j++) {
            temp[j] = roundKey[(i - 1) * 4 + j];
        }
```

```
            // Взять четырезбайтный ввод и применить S-box подстановку
            {
                temp[0] = get_SBox_Value(temp[0]);
                temp[1] = get_SBox_Value(temp[1]);
                temp[2] = get_SBox_Value(temp[2]);
                temp[3] = get_SBox_Value(temp[3]);
            }

            temp[0] = temp[0] ^ Rcon[i / keyLength];
        } else if (keyLength > 6 && i % keyLength == 4) {
            {
                temp[0] = get_SBox_Value(temp[0]);
                temp[1] = get_SBox_Value(temp[1]);
                temp[2] = get_SBox_Value(temp[2]);
                temp[3] = get_SBox_Value(temp[3]);
            }
        }
        roundKey[i * 4 + 0] = roundKey[(i - keyLength) * 4 + 0] ^ temp[0];
        roundKey[i * 4 + 1] = roundKey[(i - keyLength) * 4 + 1] ^ temp[1];
        roundKey[i * 4 + 2] = roundKey[(i - keyLength) * 4 + 2] ^ temp[2];
        roundKey[i * 4 + 3] = roundKey[(i - keyLength) * 4 + 3] ^ temp[3];
        i++;
    }
}
```

Оптимизация криптографического алгоритма AES-256

```c
// Добавить раундовы ключ к state с помощью XOR
void Add_Round_Key(int round, unsigned char state[4][4]) {
    int i, j;
    for (i = 0; i < 4; i++) {
        for (j = 0; j < 4; j++) {
            state[j][i] ^= roundKey[round * blockSize * 4 + i * blockSize + j];
        }
    }
}

// Заменить значения матрицы состояний на соответственные значения S-box
void Sub_Bytes(unsigned char state[4][4]) {
    int i, j;
    for (i = 0; i < 4; i++) {
        for (j = 0; j < 4; j++) {
            state[i][j] = get_SBox_Value(state[i][j]);

        }
    }
}

// То же что и в пред. функции, только с обратной S-Box
void Inv_Sub_Bytes(unsigned char state[4][4]) {
    int i, j;
    for (i = 0; i < 4; i++) {
        for (j = 0; j < 4; j++) {
            state[i][j] = get_SBox_Inverse(state[i][j]);

        }
    }
}
```

```c
// Сдвинуть строки в state влево на значение номера строки
void Shift_Rows(unsigned char state[4][4]) {
    unsigned char temp;

    // Первую строку на 1
    temp = state[1][0];
    state[1][0] = state[1][1];
    state[1][1] = state[1][2];
    state[1][2] = state[1][3];
    state[1][3] = temp;

    // вторую строку на  2
    temp = state[2][0];
    state[2][0] = state[2][2];
    state[2][2] = temp;
    temp = state[2][1];
    state[2][1] = state[2][3];
    state[2][3] = temp;

    // Третюю на 3
    temp = state[3][0];
    state[3][0] = state[3][3];
    state[3][3] = state[3][2];
    state[3][2] = state[3][1];
    state[3][1] = temp;
}
```

Оптимизация криптографического алгоритма AES-256

```c
// То же что и в предыдущей функции но со сдвигом вправо
void Inv_Shift_Rows(unsigned char state[4][4]) {
    unsigned char temp;

    temp = state[1][3];
    state[1][3] = state[1][2];
    state[1][2] = state[1][1];
    state[1][1] = state[1][0];
    state[1][0] = temp;

    temp = state[2][0];
    state[2][0] = state[2][2];
    state[2][2] = temp;
    temp = state[2][1];
    state[2][1] = state[2][3];
    state[2][3] = temp;

    temp = state[3][0];
    state[3][0] = state[3][1];
    state[3][1] = state[3][2];
    state[3][2] = state[3][3];
    state[3][3] = temp;
}
```

```c
// Перемешать столбцы в state
void Mix_Columns(unsigned char state[4][4]) {
    int i;
    unsigned char x1, x2, x3;
    for (i = 0; i < 4; i++) {
        x1 = state[0][i];
        x3 = state[0][i] ^ state[1][i] ^ state[2][i] ^ state[3][i];
        x2 = state[0][i] ^ state[1][i];
        x2 = xtime(x2);
        state[0][i] ^= x2 ^ x3;
        x2 = state[1][i] ^ state[2][i];
        x2 = xtime(x2);
        state[1][i] ^= x2 ^ x3;
        x2 = state[2][i] ^ state[3][i];
        x2 = xtime(x2);
        state[2][i] ^= x2 ^ x3;
        x2 = state[3][i] ^ x1;
        x2 = xtime(x2);
        state[3][i] ^= x2 ^ x3;
    }
}
```

Оптимизация криптографического алгоритма AES-256

```
void Encrypt(unsigned char plaintext[16], unsigned char Key[32], unsigned char encrypted[16], int rounds) {

    int i, j, round = 0;
    unsigned char state[4][4];

//  rounds = keyLen;

    // Вычислить значение длины ключа и количество раундов
    keyLength = rounds / 32;
    rounds = keyLength + 6;


//  for (i = 0; i < keyLength * 4; i++) {
//      Key[i] = key[i];
//  }

//  for (i = 0; i < blockSize * 4; i++) {
//      plaintext[i] = text[i];
//  }

    // Сгенерировать раундовые? ключи перед шифрованием
    Expand_Keys();

    // Копировать открытый текст в state массив
    for (i = 0; i < 4; i++) {
        for (j = 0; j < 4; j++) {
            state[j][i] = plaintext[i * 4 + j];
        }
    }
```

Оптимизация криптографического алгоритма AES-256

```
void Decrypt(unsigned char encrypted[16], unsigned char Key[32], unsigned char plaintext[16], int rounds)

    int i, j, round = 0;
    unsigned char state[4][4];

//  rounds = keyLen;

    // Вычислить значение длины ключа и количество раундов
    keyLength = rounds / 32;
    rounds = keyLength + 6;

//  for (i = 0; i < keyLength * 4; i++) {
//      Key[i] = key[i];
//  }

//  for (i = 0; i < blockSize * 4; i++) {
//      encrypted[i] = text[i];
//  }

    Expand_Keys();

    // Копировать шифротекст в state
    for (i = 0; i < 4; i++) {
        for (j = 0; j < 4; j++) {
            state[j][i] = encrypted[i * 4 + j];
        }
    }
```

```
    // получаем открытый текст
    for (i = 0; i < 4; i++) {
        for (j = 0; j < 4; j++) {
            plaintext[i * 4 + j] = state[j][i];
        }
    }
}
```

Спасибо за внимание!