

# 加解密试验

无 36      李思涵      2013011187      [lisihan969@gmail.com](mailto:lisihan969@gmail.com)

2015 年 12 月 2 日

## 目录

<b>1</b>	<b>API 设计 &amp; 分工</b>	<b>1</b>
1.1	Part I . . . . .	2
1.1.1	子密钥生成 <code>keygen</code> . . . . .	2
1.2	Part II . . . . .	2
1.2.1	密码函数 <code>Feistel</code> . . . . .	2
1.3	Part III . . . . .	2
1.3.1	加密 <code>encrypt</code> . . . . .	2
1.3.2	解密 <code>decrypt</code> . . . . .	2
1.3.3	密钥生成 <code>create_key</code> . . . . .	4
1.3.4	主程序 <code>main</code> . . . . .	4
<b>2</b>	<b>模块实现</b>	<b>4</b>
2.0.1	加密 <code>encrypt</code> . . . . .	4
2.0.2	解密 <code>decrypt</code> . . . . .	5
2.0.3	密钥生成 <code>create_key</code> . . . . .	6
2.0.4	主程序 <code>main</code> . . . . .	7
<b>3</b>	<b>实验结果</b>	<b>9</b>
3.1	误比特率 . . . . .	9
3.2	误码图案 . . . . .	9

## 1 API 设计 & 分工

我们组的成员如下：

- 2013011187 李思涵
- 2013011212 刘家硕
- 2013011166 陈馨瑶

我们将任务分成了三部分，其中我负责完成第三部分。

这次作业被托管在了 Github 上

<https://github.com/IntroductionOfCoding2015/encryption>

## 1.1 Part I

### 1.1.1 子密钥生成 `keygen`

- 输入
  - `key`: 64bits original key
- 输出
  - `subkeys`: 16 cells, each contains one 48bits subkey

## 1.2 Part II

### 1.2.1 密码函数 `Feistel`

- 输入
  - `R`: Half Block (长度 32, logical array)
  - `key`: 密钥 (长度 48, logical array)
- 输出
  - `feistel_out`:  $f(R, k)$  (长度 32, logical array)

## 1.3 Part III

### 1.3.1 加密 `encrypt`

- 输入
  - `data`: 输入数据流
  - `key`: 64 位密钥
- 输出
  - `encrypted`: 加密数据流

加密的过程如下：

1. 确保输入数据流长度为 64 的整数倍，若不是则在其后补零。
2. 初始置换 IP。
3. 使用子密钥和  $f$  函数迭代 16 次。
4. 尾置换 FP。

如图所示。

### 1.3.2 解密 `decrypt`

- 输入
  - `encrypted`: 加密数据流
  - `key`: 64 位密钥
- 输出

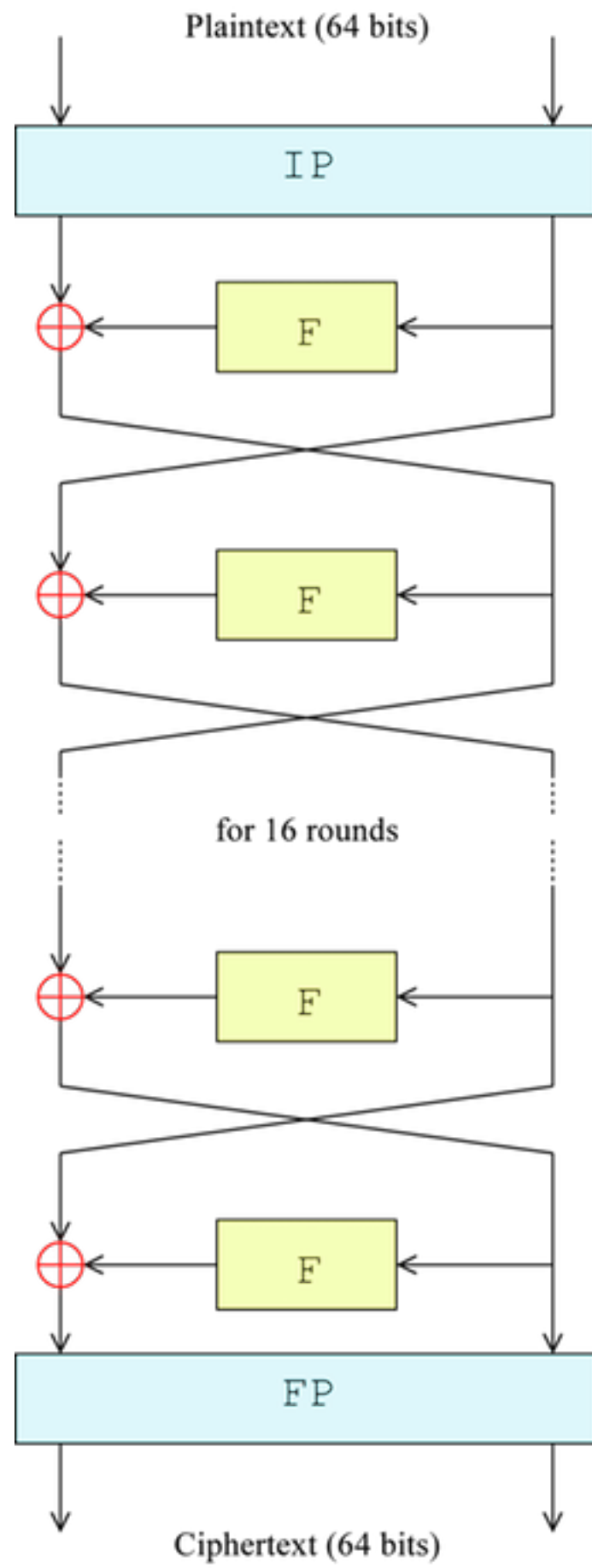


图 1: DES Main Network

- **data**: 解密后数据流

解密的过程如下：

1. 初始置换 IP。
2. 使用子密钥和 f 函数迭代 16 次，其中密钥的使用顺序与加密时相反。
3. 尾置换 FP。

可以看到，除了子密钥的使用顺序不同外，解密和加密几乎没有任何区别。

### 1.3.3 密钥生成 `create_key`

- 输入
  - **num**: 所需密钥数目，默认为 1
- 输出
  - **key**: **num** 个密钥，每列为一个 64 位密钥

使用 `randi` 函数生产一个 56 位的随机二进制序列，并在每 7 位之后加入一个偶校验位。

### 1.3.4 主程序 `main`

- 计算误比特率。
- 以 64 bit 为单位，画出误码图案。

## 2 模块实现

以下列出了我负责部分的实现代码。

### 2.0.1 加密 `encrypt`

```
function encrypted = encrypt(data, key)
    IP = [58 50 42 34 26 18 10 2 ...
          60 52 44 36 28 20 12 4 ...
          62 54 46 38 30 22 14 6 ...
          64 56 48 40 32 24 16 8 ...
          57 49 41 33 25 17 9 1 ...
          59 51 43 35 27 19 11 3 ...
          61 53 45 37 29 21 13 5 ...
          63 55 47 39 31 23 15 7];
    FP = [40 8 48 16 56 24 64 32 ...
          39 7 47 15 55 23 63 31 ...
          38 6 46 14 54 22 62 30 ...
          37 5 45 13 53 21 61 29 ...
          36 4 44 12 52 20 60 28 ...
```

```

        35 3 43 11 51 19 59 27 ...
        34 2 42 10 50 18 58 26 ...
        33 1 41 9 49 17 57 25];

% Pad data if needed.
len = length(data);
padding = ceil(len / 64) * 64 - len;
data = [data; zeros(padding, 1)];

subkeys = keygen(key); % Generate sub-keys.

for start_pos = 1:64:len
    range = start_pos:start_pos+63;
    block = data(range);

    block = fliplr(block(65 - IP)); % IP.

    left = block(33:64);
    right = block(1:32);

    for k = 1:16
        next_left = right;
        right = xor(left, Feistel(right, subkeys{k}));
        left = next_left;
    end

    block = [left; right];
    block = fliplr(block(65 - FP)); % FP.

    data(range) = block;
end

encrypted = data;
end

```

### 2.0.2 解密 decrypt

```

function data = decrypt(encrypted, key)
    IP = [58 50 42 34 26 18 10 2 ...
          60 52 44 36 28 20 12 4 ...
          62 54 46 38 30 22 14 6 ...
          64 56 48 40 32 24 16 8 ...
          57 49 41 33 25 17 9 1 ...

```

```

        59 51 43 35 27 19 11 3 ...
        61 53 45 37 29 21 13 5 ...
        63 55 47 39 31 23 15 7];
FP = [40 8 48 16 56 24 64 32 ...
      39 7 47 15 55 23 63 31 ...
      38 6 46 14 54 22 62 30 ...
      37 5 45 13 53 21 61 29 ...
      36 4 44 12 52 20 60 28 ...
      35 3 43 11 51 19 59 27 ...
      34 2 42 10 50 18 58 26 ...
      33 1 41 9 49 17 57 25];

len = length(encrypted);
subkeys = keygen(key); % Generate sub-keys.

for start_pos = 1:64:len
    range = start_pos:start_pos+63;
    block = encrypted(range);

    block = flipplr(block(65 - IP)); % IP.

    left = block(33:64);
    right = block(1:32);

    for k = 1:16
        next_left = right;
        right = xor(left, Feistel(right, subkeys{17 - k}));
        left = next_left;
    end

    block = [left; right];
    block = flipplr(block(65 - FP)); % FP.

    encrypted(range) = block;
end

data = encrypted;
end

```

### 2.0.3 密钥生成 create\_key

```

function key = create_key(varargin)
    % Determine the number of keys to be generated.

```

```

    if nargin == 0
        num = 1;
    else
        num = varargin(1);
    end

    key = zeros(64, num);

    for k = 1:num
        this_key = randi([0 1], 7, 8);
        this_key = [this_key; mod(sum(this_key), 2)];
        key(:, k) = this_key(:);
    end
end
end

```

#### 2.0.4 主程序 main

```

addpath '../convolutional-coding/src'
load data
close all

EFFICIENCY = 2;
SNR = -15:1:15;
ITERS = 10;

key = create_key();

without_error_rate = zeros(size(SNR));
with_error_rate = zeros(size(SNR));

for k = 1:length(SNR)
    snr = SNR(k);
    disp([num2str(k) '/' num2str(length(SNR)) ': SNR = ' num2str(snr)]);

    for iter = 1:ITERS
        % Without encryption.
        signals = conv_send(data, true, EFFICIENCY, []);
        signals = transmit(signals, snr);
        recovered = conv_receive(signals, true, EFFICIENCY, [], true);

        err = xor(data, recovered);
        without_error_rate(k) = without_error_rate(k) + ...
            sum(err) / length(data) / ITERS;
    end
end

```

```

    % figure
    % for block = 1:16
    %     range = ((block - 1) * 64 + 1):(block * 64);
    %     subplot(4, 4, block);
    %     stem(err(range))
    %     axis([1 64 0 1])
    % end
    % supitle(['Error Map, SNR = ' num2str(snr) 'dB, Without Encryption']);

    % With encryption.
    encrypted = encrypt(data, key);
    signals = conv_send(encrypted, true, EFFICIENCY, []);
    signals = transmit(signals, snr);
    encrypted = conv_receive(signals, true, EFFICIENCY, [], true);
    recovered = decrypt(encrypted, key);

    err = xor(data, recovered);
    with_error_rate(k) = with_error_rate(k) + ...
        sum(err) / length(data) / ITTERS;

    % figure
    % for block = 1:16
    %     range = ((block - 1) * 64 + 1):(block * 64);
    %     subplot(4, 4, block);
    %     stem(err(range))
    %     axis([1 64 0 1])
    % end
    % supitle(['Error Map, SNR = ' num2str(snr) 'dB, With Encryption']);
end

end

figure
semilogy(SNR, with_error_rate, SNR, without_error_rate);
title 'Error Bit Rate'
legend('With Encryption', 'Without Encryption');
xlabel 'SNR/dB'
ylabel 'Eb'

```



### 3 实验结果

#### 3.1 误比特率

误比特率和信噪比的关系如图所示。可以看到，在经过了加密之后，数据的误比特率明显增大。这说明，信道噪声产生的较少错误，都会使接收端解码后的数据中产生大量的错误。这个雪崩效应的定义看起来是反的，但由于我们的加密算法是可逆的，从密文到明文的雪崩效应实际上和从明文到密文的一样。

实际上，这一点可以使信道更加安全。因为窃听者的信道质量一般较差，故解码后的数据很有可能出现大量的错误，从而达到了阻止窃听者获取信息的目的。

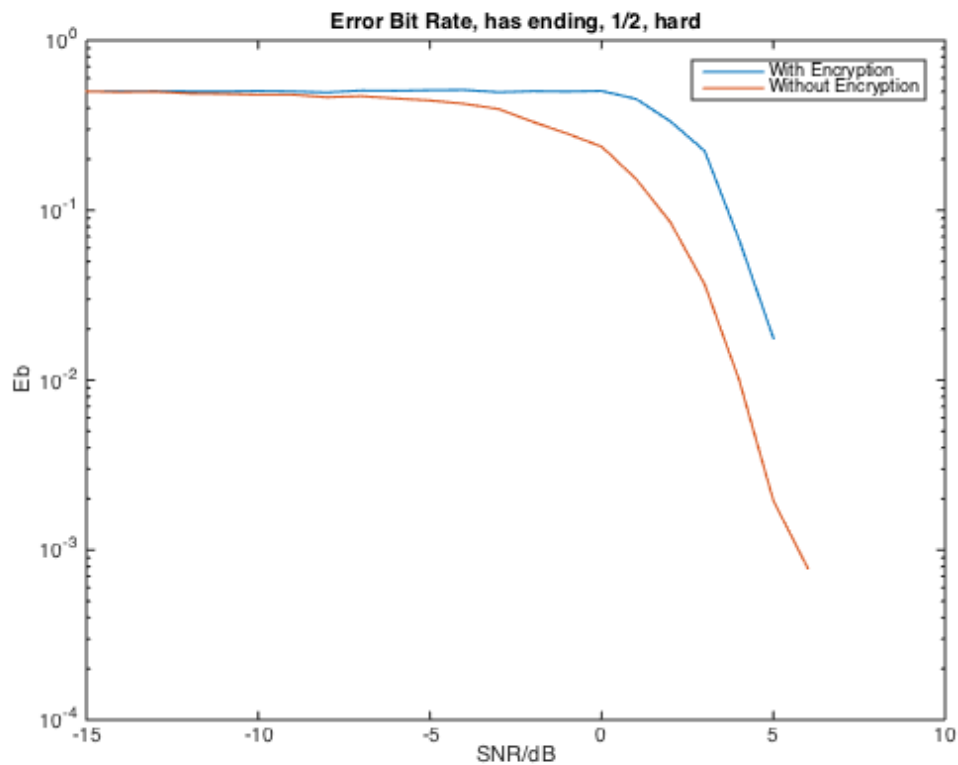


图 2: 误比特率

#### 3.2 误码图案

如图所示。可以看到，是否加密对误块率基本没有影响。但加密后，一旦有误码就会在块内扩散出大量的误码，使误比特率大大增加。这说明我们的加密算法确实能产生雪崩效应，是合格的。不过，这种雪崩效应被限制在了长为 64 的块中，可能会影响加密的效果。

Error Map, SNR = 1dB, Without Encryption

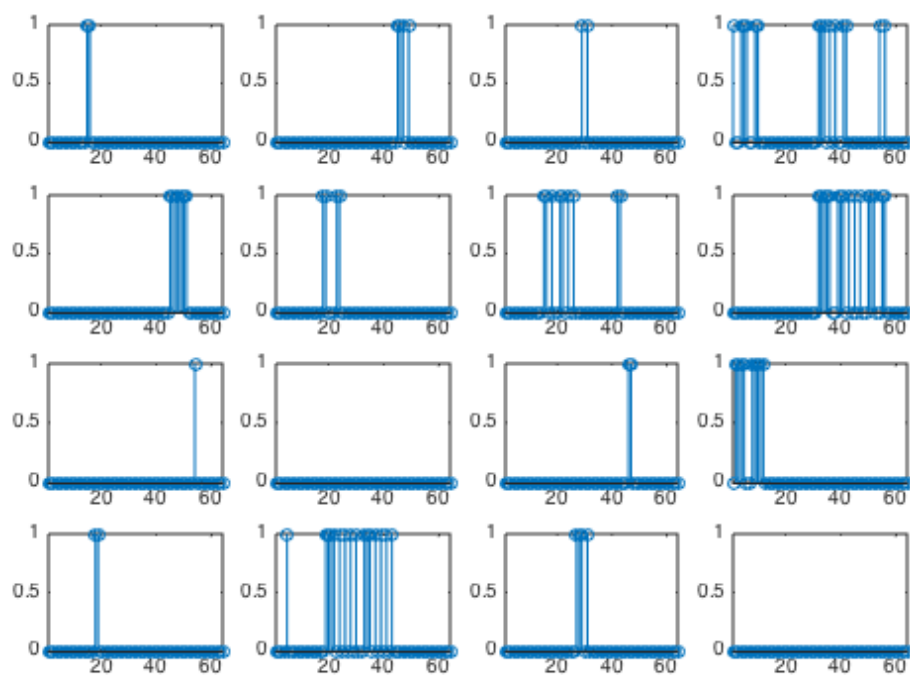


图 3: 未加密时误码图案

Error Map, SNR = 1dB, With Encryption

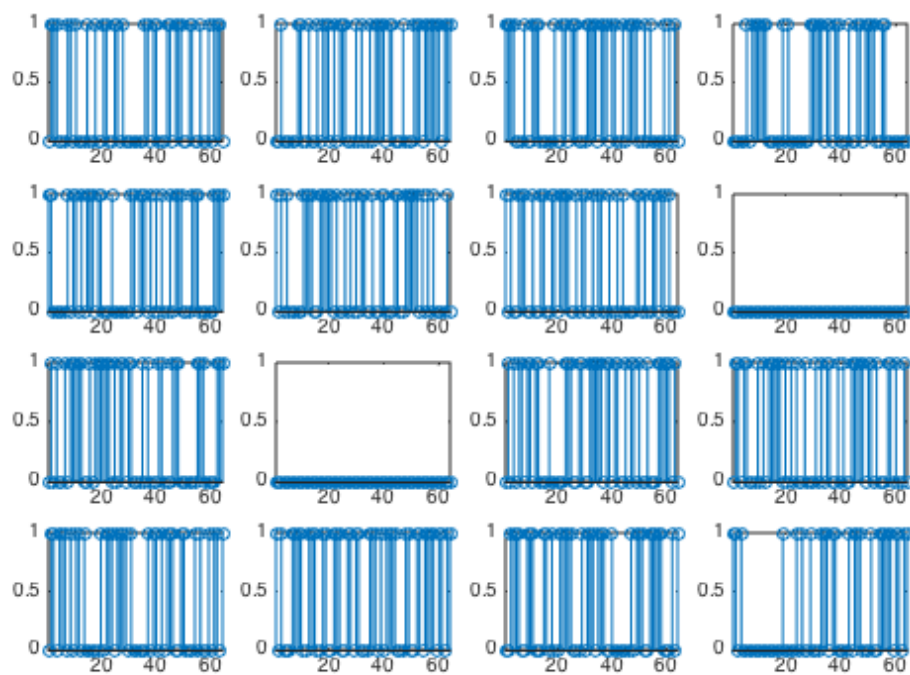


图 4: 加密时误码图案