密码学原理
实验二：对称加密与认证

学号：2022112266　　姓名：魏圣卓

实验目的：本实验旨在掌握运用密码学工具实现 CPA 安全加密与 CCA 安全加密，并采用 CCA 能力攻击 CPA 安全加密方案。

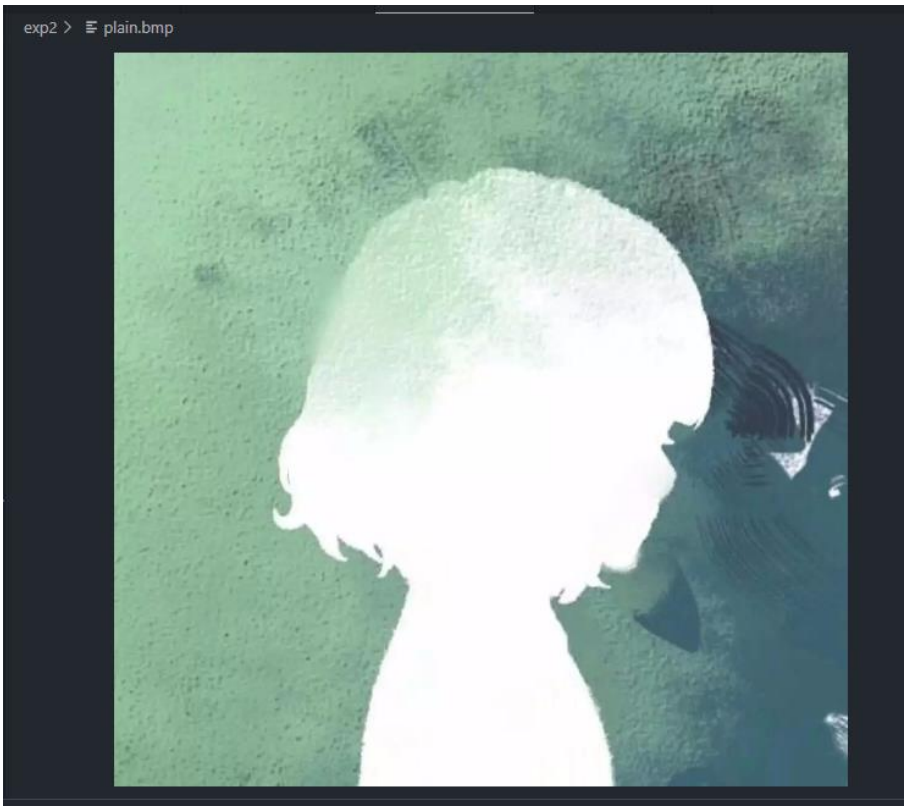
1、 使用密码学工具实现 CPA 安全加密算法

(1) 使用密码学工具实现 CPA 安全加密方案

要求：选择 CPA 安全的加密方案对一个图片内容进行加密和解密，密文文件可用图片浏览器打开。

先随机创建 AES 密钥和初始向量存于本地 key.json，并对图片的像素存储部分进行加密，然后将加密后的密文和原文件头打包生成新的密文图片：

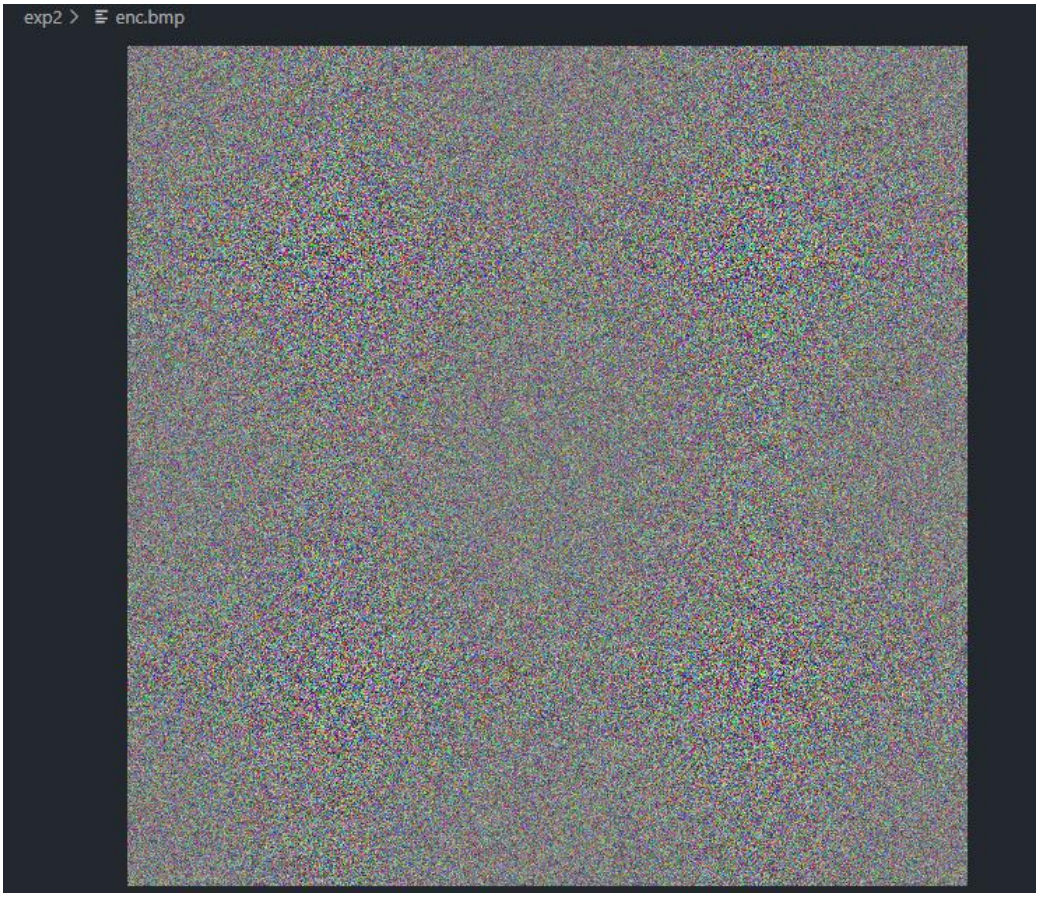
原图片：



使用 AES 方法对图片进行加密：

```
PS C:\Code\Crypto\exp2> node enc -i .\plain.bmp -k .\key.json -o enc.bmp
1200 1200
1440000
Encrypted image file saved as :enc.bmp
Encryption Key: 8cf95a93ddb860ff6155fbe502ca1f798cf95a93ddb860ff6155fbe502ca1f79
Initialization Vector: 98c49563bcd639013600bb4215161249
PS C:\Code\Crypto\exp2>
```

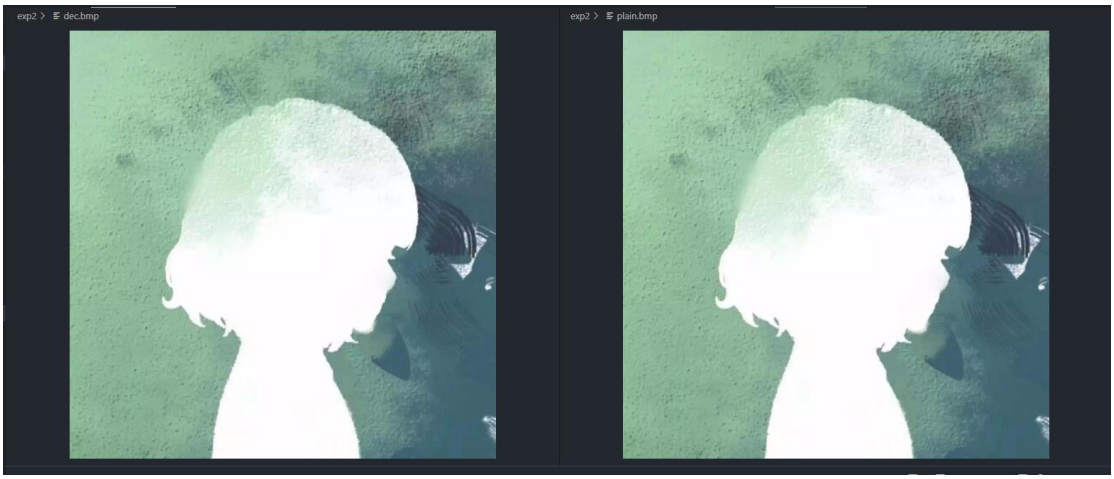
加密后的图片：



使用 AES 方法解密图片：

```
PS C:\Code\Crypto\exp2> node .\dec.js -i .\enc.bmp -k .\key.json -o dec.bmp
Decrypted image file saved as :dec.bmp
PS C:\Code\Crypto\exp2>
```

解密后图片与原图片对比：



2、 采用 CCA 攻击分析 CPA 安全加密方案

(1) 利用 CCA 能力敌手攻击 CPA 安全的加密方案

要求：对上一步中 CPA 安全加密方案加密的图片文件进行 CCA 攻击：

篡改密文图片，然后用解密预言机对篡改图片解密。

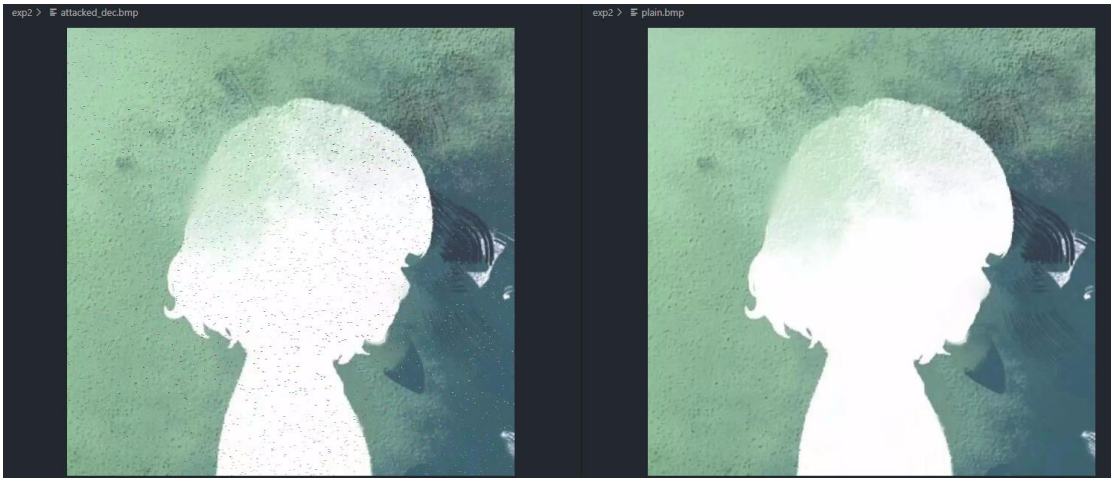
使用攻击命令，随机修改密文中的部分字节：

```
PS C:\Code\Crypto\exp2> node .\attack.js -i .\enc.bmp -o attacked_enc.bmp
attacked image file saved as attacked_enc.bmp
```

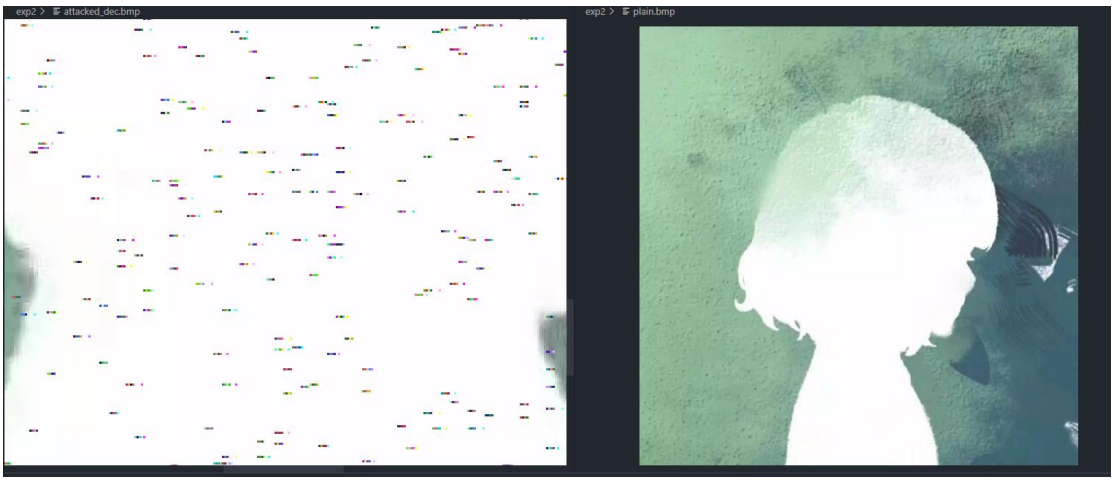
使用 AES 解密被攻击后的密文图片：

```
PS C:\Code\Crypto\exp2> node .\dec.js -i .\attacked_enc.bmp -k .\key.json -o attacked_dec.bmp
Decrypted image file saved as :attacked_dec.bmp
```

发现解密后的图片多出许多噪音



放大后可以发现部分像素点已被改变，原密文被破坏：



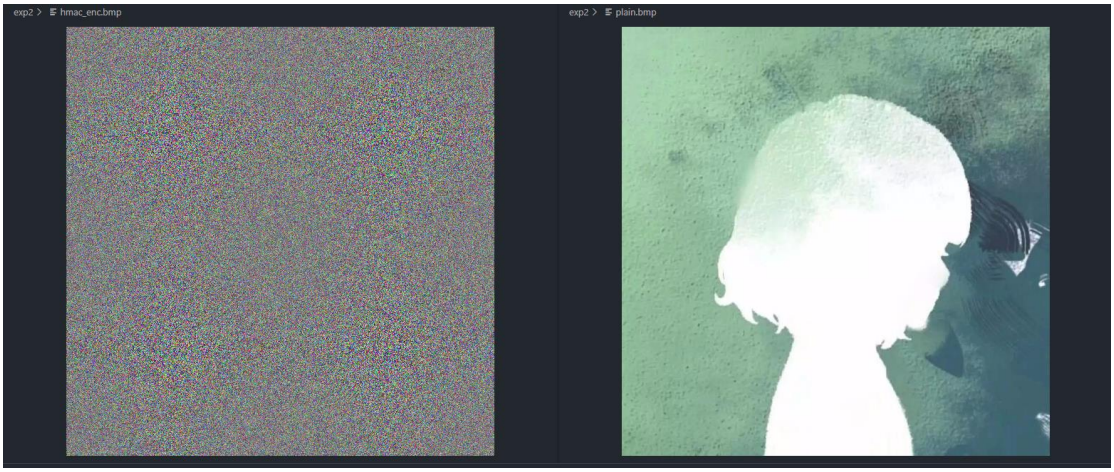
3、 使用密码学工具实现 CCA 安全的加密算法

(1) 使用密码学工具实现 CCA 安全加密方案

要求：选择 CCA 安全的加密方案对一个图片内容进行加密和解密，密文文件可用图片浏览器打开。

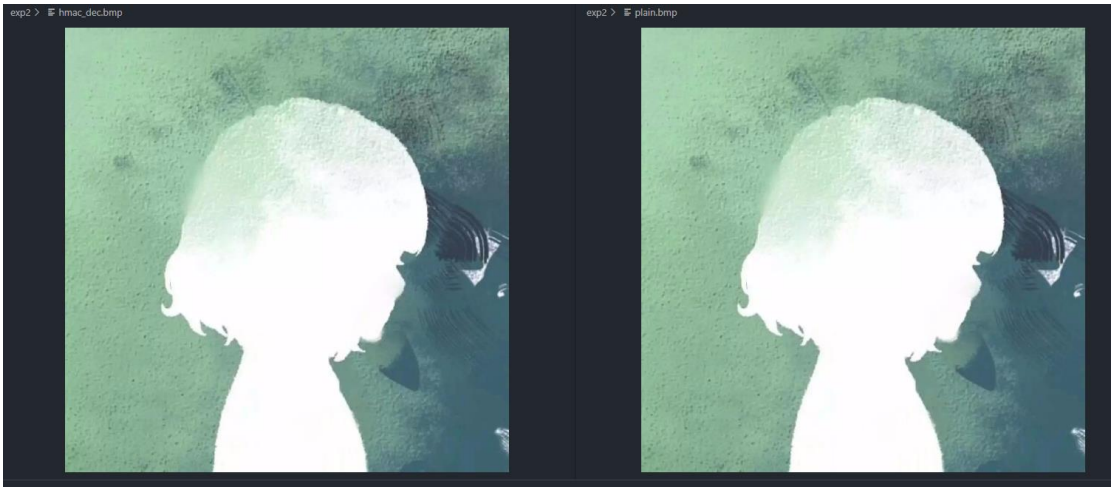
使用包含 hmac 标识的密文图片，加密后如图：

```
PS C:\Code\Crypto\exp2> node .\enc-hmac.js -i .\plain.bmp -k .\key.json -o hmac_enc.bmp
1200 1200
1440000
56e5a15d13ae38e2d480aceaf024181ec2de640d0646e9bb04430082e273e729
Encrypted image file saved as hmac_enc.bmp
Encryption Key: 8cf95a93ddb860ff6155fbe502ca1f798cf95a93ddb860ff6155fbe502ca1f79
Initialization Vector: 98c49563bcd639013600bb4215161249
PS C:\Code\Crypto\exp2>
```

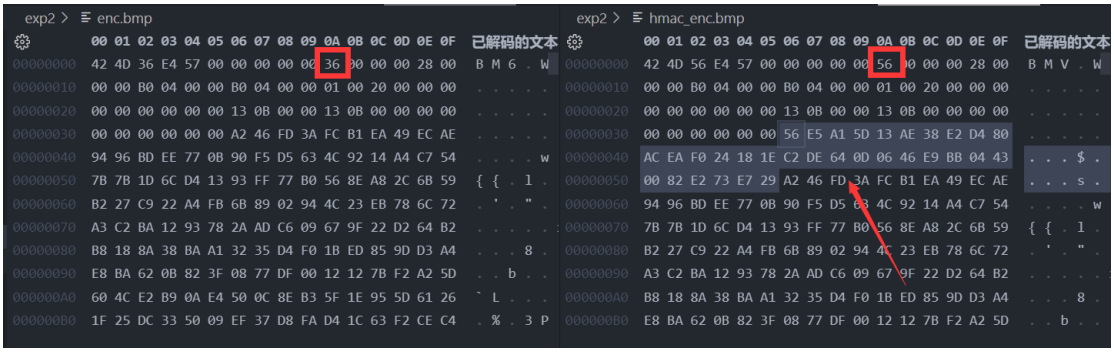


未被攻击的密文图片可以正常解密：

```
PS C:\Code\Crypto\exp2> node .\dec-hmac.js -i .\hmac_enc.bmp -k .\key.json -o hmac_dec.bmp
56e5a15d13ae38e2d480aceaf024181ec2de640d0646e9bb04430082e273e729
56e5a15d13ae38e2d480aceaf024181ec2de640d0646e9bb04430082e273e729
yes
Decrypted image file saved as hmac_dec.bmp
PS C:\Code\Crypto\exp2>
```



原理的在加密后对像素信息计算 hmac 值，并将 32 位的 hmac 值写入图片的文件头，同时修改 offset 值使图片可以被正常打开浏览。



(2) CCA 敌手能否攻击成功 CCA 安全的加密方案

要求：尝试用第 2 步 CCA 攻击来攻击 CCA 安全加密的图片。

使用攻击脚本篡改密文图片，随机修改一部分字节

```
PS C:\Code\Crypto\exp2> node .\attack.js -i .\hmac_enc.bmp -o attacked_hmac.bmp
attacked image file saved as attacked_hmac.bmp
```

尝试使用解密预言机，hmac 对应失败，拒绝解密

```
PS C:\Code\Crypto\exp2> node .\dec-hmac.js -i .\attacked_hmac.bmp -k .\key.json -o hmac_dec.bmp
fc95cd74010ca55add93fb40ffb294491086bfa96c6ba0e5371b86b657aaf2fa
56e5a15d13ae38e2d480aceaf024181ec2de640d0646e9bb04430082e273e729
HMAC不匹配
解密失败
```

Enc.js:

```
const fs = require('fs');
const crypto = require('crypto');
const { program } = require('commander');

program
    .option('-k,--key <key>', 'Key file', 'key.json')
    .option('-i,--in <in>', 'File to enc', "plain.bmp")
    .option('-o,--out <out>', 'Output file', "dec.bmp")
    .parse(process.argv);

// 读取 BMP 文件
fs.readFile(program.opts().in, (err, data) => {
    // fs.readFile('input_image.bmp', (err, data) => {
    if (err) {
        console.error('Error reading file:', err);
        return;
    }
    // 解析 BMP 文件
    const bmpData = parseBMP(data);
    // 提取像素数据并转换为十六进制字符串
    const pixelDataHex = extractPixelDataHex(bmpData, 32);
    // 使用 AES CBC 加密
    const encryptedData = encryptAES(pixelDataHex);

    writeEncryptedDataToFile(bmpData, encryptedData);
});

// 解析 BMP 文件
function parseBMP(data) {
    const headerSize = data.readUInt32LE(14); // 读取文件头的大小
    const imageDataOffset = data.readUInt32LE(10); // 图像数据偏移量

    // 提取图像宽度和高度
    const width = data.readUInt32LE(18);
    const height = data.readUInt32LE(22);
    console.log(width + ' ' + height);
    return {
        headerSize,
        imageDataOffset,
        width,
        height,
        headerData: data.slice(0, 54),
        imageData: data.slice(imageDataOffset)
```

```
    };
}

// 提取像素数据并转换为十六进制字符串
function extractPixelDataHex(bmpData, bitsPerPixel) {
    const bytesPerPixel = bitsPerPixel / 8;
    const imageData = bmpData.imageData;
    const pixelDataHex = [];

    for (let i = 0; i < bmpData.height; i++) {
        for (let j = 0; j < bmpData.width; j++) {
            const offset = i * bmpData.width * bytesPerPixel + j *
bytesPerPixel;
            const pixel = imageData.slice(offset, offset +
bytesPerPixel);
            const pixelHex = pixel.toString('hex');
            pixelDataHex.push(pixelHex);
        }
    }
    console.log(pixelDataHex.length);
    return pixelDataHex;
}

function readkey(kfile) {

    const data = fs.readFileSync(kfile, 'utf8');

    const jsonData = JSON.parse(data)

    const key = Buffer.from(jsonData.key, 'hex');
    const iv = Buffer.from(jsonData.iv, 'hex');
 return { key, iv }
}



// 使用 AES CBC 加密
function encryptAES(data) {
 const { key, iv } = readkey(program.opts().key)


    const cipher = crypto.createCipheriv('aes-256-cbc', key, iv);

    let encryptedData = cipher.update(data.join(''), 'hex', 'hex');
    encryptedData += cipher.final('hex');
```

```
    return {
        key: key.toString('hex'),
        iv: iv.toString('hex'),
        encryptedData
    };
}

// 将加密后的数据写入新的 BMP 文件
function writeEncryptedDataToFile(bmpData, encryptedData) {
    const { key, iv, encryptedData: data } = encryptedData;

    const bmpHeader = bmpData.headerData.slice(0, 14);
    const bmpInfoHeader = bmpData.headerData.slice(14, 54);


    // 创建新的 BMP 文件
    const encryptedImageData = Buffer.from(data, 'hex');
    const encryptedFileData = Buffer.concat([bmpHeader, bmpInfoHeader,
encryptedImageData]);

    fs.writeFile(program.opts().out, encryptedFileData, (err) => {
        if (err) {
            console.error('Error writing to file:', err);
            return;
        }
        console.log('Encrypted image file saved
as :'+program.opts().out);
        console.log('Encryption Key:', key);
        console.log('Initialization Vector:', iv);
    });
}
```

Dec.js:

```
const fs = require('fs');
const crypto = require('crypto');
const { program } = require('commander');
program
    .option('-k,--key <key>', 'Key file', 'key.json')
    .option('-i,--in <in>', 'File to dec', "plain.bmp")
    .option('-o,--out <out>', 'Output file', "dec.bmp")
    .parse(process.argv);
```

```
let enfile=program.opts().in
fs.readFile(enfile, (err, data) => {
    if (err) {
        console.error('Error reading file:', err);
        return;
    }

    // 解密 BMP 文件
    const decryptedData = decryptBMP(data);

    // 将解密后的数据写入新的 BMP 文件
    writeDecryptedDataToFile(decryptedData);
});
function readkey(kfile) {
    // 读取文件


    // 同步读取文件内容
    const data = fs.readFileSync(kfile, 'utf8');

    // 解析 JSON 数据
    const jsonData = JSON.parse(data);



    // console.log(jsonData);

    const key = Buffer.from(jsonData.key, 'hex');
 return { key, iv }
}

// 解密 BMP 文件
function decryptBMP(data) {
    // 从文件中提取加密数据
    const encryptedImageData = data.slice(54); // 从偏移量 54 处开始，跳过文件头和信息头
    const encryptedDataHex = encryptedImageData.toString('hex');
 const { key, iv } = readkey(program.opts().key)

    // 使用 AES CBC 解密
    const decipher = crypto.createDecipheriv('aes-256-cbc', key, iv);

    let decryptedData = decipher.update(encryptedDataHex, 'hex', 'hex');
    decryptedData += decipher.final('hex');
```

```
    return {
        headData:data.slice(0,54),
        pixelData:Buffer.from(decryptedData, 'hex')
    };
}

// 将解密后的数据写入新的 BMP 文件
function writeDecryptedDataToFile(decryptedData) {
    // 读取原始 BMP 文件头和信息头
    const bmpHeader = decryptedData.headData.slice(0, 14);
    const bmpInfoHeader = decryptedData.headData.slice(14, 54);

    // 创建新的 BMP 文件
    const decryptedImageData = decryptedData.pixelData;
    const decryptedFileData = Buffer.concat([bmpHeader, bmpInfoHeader,
decryptedImageData]);

    fs.writeFile(program.opts().out, decryptedFileData, (err) => {
        if (err) {
            console.error('Error writing to file:', err);
            return;
        }
        console.log('Decrypted image file saved
as :'+program.opts().out);
    });
}
```

Attack.js

```
const fs = require('fs');
const { program } = require('commander');
program
    .option('-i,--in <in>', 'File to dec', "encrypted_image.bmp")
    .option('-o,--out <out>', 'Output file', "attacked_image.bmp")
    .parse(process.argv);


// 读取加密的 BMP 文件
fs.readFile(program.opts().in, (err, data) => {
    if (err) {
        console.error('Error reading file:', err);
        return;
    }
```

```
    // 解密 BMP 文件
    const attackedData = attackBMP(data,5000);

    // 将解密后的数据写入新的 BMP 文件
    writeattackedDataToFile(attackedData);
});

// 解密 BMP 文件
function attackBMP(data,num) {
    // 从文件中提取加密数据
    const oriImageData = data.slice(54); // 从偏移量 54 处开始，跳过文件头和信息头
    const oriDataHex = oriImageData.toString('hex');
    // 将十六进制字符串转换为 Buffer
    const buffer = Buffer.from(oriDataHex, 'hex');
    // 随机选择要更改的字节索引
    const bytesToChange = new Set();
    while (bytesToChange.size < num) {
        bytesToChange.add(Math.floor(Math.random() * buffer.length));
    }
    // 随机更改选定的字节
    for (const byteIndex of bytesToChange) {
        buffer[byteIndex] = Math.floor(Math.random() * 256); // 0 到 255 之间的随机数
    }

    return {
        headData:data.slice(0,54),
        pixelData:buffer
    };
}


// 将解密后的数据写入新的 BMP 文件
function writeattackedDataToFile(attackedData) {
    // 读取原始 BMP 文件头和信息头
    const bmpHeader = attackedData.headData.slice(0, 14);
    const bmpInfoHeader = attackedData.headData.slice(14, 54);

    // 创建新的 BMP 文件
    const attackedImageData = attackedData.pixelData;
    const attackedFileData = Buffer.concat([bmpHeader, bmpInfoHeader, attackedImageData]);

    fs.writeFile(program.opts().out, attackedFileData, (err) => {
```

```
        if (err) {
            console.error('Error writing to file:', err);
            return;
        }
        console.log('attacked image file saved as '+program.opts().out);
    });
}
```

Enc-hmac.js:

```
const fs = require('fs');
const crypto = require('crypto');
const { program } = require('commander');

program
    .option('-k,--key <key>', 'Key file', 'key.json')
    .option('-i,--in <in>', 'File to enc', "plain.bmp")
    .option('-o,--out <out>', 'Output file', "dec.bmp")
    .parse(process.argv);

// 读取 BMP 文件
fs.readFile(program.opts().in, (err, data) => {
    // fs.readFile('input_image.bmp', (err, data) => {
    if (err) {
        console.error('Error reading file:', err);
        return;
    }

    // 解析 BMP 文件
    const bmpData = parseBMP(data);

    // 提取像素数据并转换为十六进制字符串
    const pixelDataHex = extractPixelDataHex(bmpData, 32); // 选择每像素
32 位的数据
// console.log(bmpData.imageData.toString('hex'));
// console.log(pixelDataHex.toString());
    // 使用 AES CBC 加密
    const encryptedData = encryptAES(pixelDataHex);

    // console.log(encryptedData.encryptedData.toString('hex'));
    // 将加密后的数据写入新的 BMP 文件
    writeEncryptedDataToFile(bmpData,encryptedData);
});
```

```
// 解析 BMP 文件
function parseBMP(data) {
    const fileSize = data.readUInt32LE(2); // 读取文件头的大小
    const imageDataOffset = data.readUInt32LE(10); // 图像数据偏移量

    // 提取图像宽度和高度
    const width = data.readUInt32LE(18);
    const height = data.readUInt32LE(22);
    console.log(width+' '+height);
    return {
        fileSize,
        imageDataOffset,
        width,
        height,
        headerData: data.slice(0,54),
        imageData: data.slice(imageDataOffset)
    };
}

// 提取像素数据并转换为十六进制字符串
function extractPixelDataHex(bmpData, bitsPerPixel) {
    const bytesPerPixel = bitsPerPixel / 8;
    const imageData = bmpData.imageData;
    const pixelDataHex = [];

    for (let i = 0; i < bmpData.height; i++) {
        for (let j = 0; j < bmpData.width; j++) {
            const offset = i * bmpData.width * bytesPerPixel + j *
bytesPerPixel;
            const pixel = imageData.slice(offset, offset +
bytesPerPixel);
            const pixelHex = pixel.toString('hex');
            pixelDataHex.push(pixelHex);
        }
    }
    console.log(pixelDataHex.length);
    return pixelDataHex;
}
function readkey(kfile) {
    // 读取文件


    // 同步读取文件内容
    const data = fs.readFileSync(kfile, 'utf8');
```

```
    // 解析 JSON 数据
    const jsonData = JSON.parse(data);



    // console.log(jsonData);

    const key = Buffer.from(jsonData.key, 'hex'); // 将密钥替换为加密时使用的密钥
    const iv = Buffer.from(jsonData.iv, 'hex'); // 将初始化向量替换为加密时使用的初始化向量
  return { key, iv }
}
// 使用 AES CBC 加密
function encryptAES(data) {
 const { key, iv } = readkey(program.opts().key)

    const cipher = crypto.createCipheriv('aes-256-cbc', key, iv);

    let encryptedData = cipher.update(data.join(''), 'hex', 'hex');
    encryptedData += cipher.final('hex');

    const secretKey="123123123878678678678678678653453"

    const hmac = crypto.createHmac('sha256', secretKey);
    hmac.update(encryptedData.toString('hex'));
    const hmacResult = hmac.digest();
    return {
        key: key.toString('hex'),
        iv: iv.toString('hex'),
        hmacResult,
        encryptedData
    };
}

// 将加密后的数据写入新的 BMP 文件
function writeEncryptedDataToFile(bmpData,encryptedData) {
    const { key, iv,hmacResult, encryptedData: data } = encryptedData;

    const bmpHeader = bmpData.headerData.slice(0, 14);
    const bmpInfoHeader = bmpData.headerData.slice(14, 54);

    bmpHeader.writeUInt32LE(bmpData.fileSize + 32, 2); // 文件大小
    // const imageDataOffset = data.readUInt32LE(10); // 图像数据偏移量
```

```
    bmpHeader.writeUInt32LE(54+32,10)
    const hmac=Buffer.from(hmacResult)
    console.log(hmacResult.toString('hex'));

    // 创建新的 BMP 文件
    const encryptedImageData = Buffer.from(data, 'hex');
    const encryptedFileData = Buffer.concat([bmpHeader,
bmpInfoHeader,hmac, encryptedImageData]);

    fs.writeFile(program.opts().out, encryptedFileData, (err) => {
        if (err) {
            console.error('Error writing to file:', err);
            return;
        }
        console.log('Encrypted image file saved as
'+program.opts().out);
        console.log('Encryption Key:', key);
        console.log('Initialization Vector:', iv);
    });
}
```

Dec-hmac.js:

```
const fs = require('fs');
const crypto = require('crypto');
const { error } = require('console');
const { program } = require('commander');
program
    .option('-k,--key <key>', 'Key file', 'key.json')
    .option('-i,--in <in>', 'File to dec', "encrypted_image.bmp")
    .option('-o,--out <out>', 'Output file', "decrypted_image.bmp")
    .parse(process.argv);

// 读取加密的 BMP 文件
// let enfile='hmac_encrypted_image.bmp'
// let enfile = 'hmac_attacked_image.bmp'
let enfile=program.opts().in

fs.readFile(enfile, (err, data) => {
    if (err) {
        console.error('Error reading file:', err);
        return;
    }
```

```
    // 解密 BMP 文件
    const decryptedData = decryptBMP(data);

    // 将解密后的数据写入新的 BMP 文件
    writeDecryptedDataToFile(decryptedData);
});
function readkey(kfile) {
    // 读取文件


    // 同步读取文件内容
    const data = fs.readFileSync(kfile, 'utf8');

    // 解析 JSON 数据
    const jsonData = JSON.parse(data);



    // console.log(jsonData);

    const key = Buffer.from(jsonData.key, 'hex'); // 将密钥替换为加密时使用的密钥
    const iv = Buffer.from(jsonData.iv, 'hex'); // 将初始化向量替换为加密时使用的初始化向量
   return { key, iv }
}
// 解密 BMP 文件
function decryptBMP(data) {
    // 从文件中提取加密数据
    const encryptedImageData = data.slice(54 + 32); // 从偏移量 54 处开始，跳过文件头和信息头
    const encryptedDataHex = encryptedImageData.toString('hex');


    // 计算 HMAC
    const secretKey = "123123123878678678678678653453"
    const hmac = crypto.createHmac('sha256', secretKey);
    hmac.update(encryptedImageData.toString('hex'));
    const hmacResult = hmac.digest('hex');

    const orihmac = data.slice(54, 54 + 32).toString('hex')

    console.log(hmacResult);
    console.log(orihmac);
```

```
    if (orihmac == hmacResult) {
        console.log('yes');
    } else {
        return {
            success:0,
            headData: null,
            pixelData: null
        };
    }
    const { key, iv } = readkey(program.opts().key)

    // 使用 AES CBC 解密
    const decipher = crypto.createDecipheriv('aes-256-cbc', key, iv);

    let decryptedData = decipher.update(encryptedDataHex, 'hex', 'hex');
    decryptedData += decipher.final('hex');

    return {
        success:1,
        headData: data.slice(0, 54),
        pixelData: Buffer.from(decryptedData, 'hex')
    };
}

// 将解密后的数据写入新的 BMP 文件
function writeDecryptedDataToFile(decryptedData) {
    if (decryptedData.success==0) {
        console.log('HMAC 不匹配');
        console.log('解密失败');
        return

    }
    // 读取原始 BMP 文件头和信息头
    const bmpHeader = decryptedData.headData.slice(0, 14);
    const bmpInfoHeader = decryptedData.headData.slice(14, 54);

    // 创建新的 BMP 文件
    const decryptedImageData = decryptedData.pixelData;
    const decryptedFileData = Buffer.concat([bmpHeader, bmpInfoHeader,
decryptedImageData]);

    fs.writeFile(program.opts().out, decryptedFileData, (err) => {
        if (err) {
            console.error('Error writing to file:', err);
```

```
            return;
        }
        console.log('Decrypted image file saved as
'+program.opts().out);
    });
}
```