《数字图像处理》实验报告

姓名：汪江豪 学号：22121630

实验 6

一. 任务 1

编程对图片 bridge.bmp 和 web.bmp 进行压缩.

1. 采用哈夫曼编码，实现压缩和解压缩
2. 采用无损预测编码，并对误差进行哈夫曼编码，实现压缩和解压缩（该小题选做）
3. 用平均均方误差的平方根（如下），对解压缩后的图像和原图进行比较，并计算压缩比

a) 核心代码：

核心部分--哈夫曼编码部分：

```
class HuffmanNode:
    def __init__(self, freq, symbol, left=None, right=None):
        self.freq = int(freq)
        self.symbol = int(symbol)
        self.left = left
        self.right = right
        self.huff = None
    # 重载小于运算符，用于在优先队列中比较节点的频率
    def __lt__(self, other):
        return self.freq < other.freq

# 构建哈夫曼树
def build_huffman_tree(frequency):
    heap = [HuffmanNode(freq, symbol) for symbol, freq in frequency.items()]
    heapq.heapify(heap)  # 将列表转换为优先队列
    while len(heap) > 1:
        left = heapq.heappop(heap)
        right = heapq.heappop(heap)
        left.huff = 0
        right.huff = 1
        newNode = HuffmanNode(
            left.freq + right.freq, left.symbol + right.symbol, left, right
        )
        heapq.heappush(heap, newNode)
    return heap[0]
```

```python
# 递归构建哈夫曼编码,
def build_codes(node, val=None):
    if val is None:
        val = bitarray()
    # 构造哈夫曼键值对[symbol:编码]
    codes = {}
    if node:
        newVal = val.copy()
        if node.huff is not None:
            newVal.append(node.huff)
        if not node.left and not node.right:
            codes[node.symbol] = newVal
        codes.update(build_codes(node.left, newVal))
        codes.update(build_codes(node.right, newVal))
    return codes

# 哈夫曼编码
def huffman_encoding(data):
    # 从大到小给出[像素值：频率]
    frequency = Counter(data)
    huffman_tree = build_huffman_tree(frequency)
    # 是一个字典[symbol:编码]
    huffman_codes = build_codes(huffman_tree)
    encoded_data = bitarray()

    cnt = 0
    for symbol in data:
        encoded_data += huffman_codes[symbol]
        cnt += 1
    print(f"编码完毕,{cnt}个像素值已编码")
    return encoded_data, huffman_codes

# 哈夫曼解码
def huffman_decoding(encoded_data, huffman_codes, length):
    # reverse_codes = [编码：symbol]
    reverse_codes = {code.to01(): symbol for symbol, code in huffman_codes.items()}
    decoded_data = []
    current_code = ""
    cnt = 0
    for bit in encoded_data:
        current_code += "1" if bit else "0"
        # 检索字典中的键
        if current_code in reverse_codes:
            decoded_data.append(reverse_codes[current_code])
```

```
            cnt += 1
            if cnt == length:
                break
            current_code = ""
    print(f"解码完毕,{len(decoded_data)}个像素值已解码")
    return decoded_data
```

使用哈夫曼压缩和解压图像部分：

```
# 压缩图片，哈夫曼方式
def compress_image(img, output_path, huffman_codes_path):
    shape = img.shape
    # 将图片像素值转换为一维数组
    flat_img = img.flatten()
    print(f"源图像的像素个数：{flat_img.size}")
    encoded_data, huffman_codes = huffman_encoding(flat_img)
    # 写入 encoded_data
    with open(output_path, "wb") as f:
        encoded_data.tofile(f)
    # 写入 huffman_codes
    with open(huffman_codes_path, "w") as f:
        for symbol, code in huffman_codes.items():
            f.write(f"{symbol} : {code}\n")
    return huffman_codes, shape

# 解压图片，哈夫曼方式
def decompress_image(encoded_path, huffman_codes, shape):
    encoded_data = bitarray()
    with open(encoded_path, "rb") as f:
        encoded_data.fromfile(f)  # 从文件中读取 bit
    length = shape[0] * shape[1]
    decoded_data = huffman_decoding(encoded_data, huffman_codes, length)
    decoded_img = np.array(
        [int(pixel) for pixel in decoded_data], dtype=np.uint8
    ).reshape(shape)
    return decoded_img
```

使用无损预测编码对图像压缩的核心部分：

```
# 无损预测编码
def predictive_encoding(img):
    height, width = img.shape
    # 创建一个和原图像大小相同的数组
    img = img.astype(np.int16)
    pred_error = np.zeros((height, width), dtype=np.int16)
    for i in range(height):
        for j in range(width):
```

```
            if j == 0:
                pred_error[i][j] = img[i][j]
            else:
                pred_error[i][j] = img[i][j] - img[i][j - 1]
    return pred_error
# 无损预测解码
def predictive_decoding(pred_error):
    height, width = pred_error.shape
    img = np.zeros((height, width), dtype=np.int16)
    for i in range(height):
        for j in range(width):
            if j == 0:
                img[i, j] = pred_error[i, j]
            else:
                img[i, j] = pred_error[i, j] + img[i, j - 1]
    return img
```

无损预测—误差生成哈夫曼编码，对图像压缩和解压部分：

```
# 压缩图片，无损预测方式
def compress_image_pre(img, output_path, huffman_codes_path):
    pred_error = predictive_encoding(img)
    flat_error = pred_error.flatten()
    encoded_data, huffman_codes = huffman_encoding(flat_error)
    with open(output_path, "wb") as f:
        encoded_data.tofile(f)
    with open(huffman_codes_path, "w") as f:
        for symbol, code in huffman_codes.items():
            f.write(f"{symbol} : {code.to01()}\n")
    return huffman_codes, pred_error.shape

# 解压图片，无损预测方式
def decompress_image_pre(encoded_path, huffman_codes, shape):
    encoded_data = bitarray()
    with open(encoded_path, "rb") as f:
        encoded_data.fromfile(f)
        length = shape[0] * shape[1]
        decoded_data = huffman_decoding(encoded_data, huffman_codes, length)
    pred_error = np.array(
        [int(pixel) for pixel in decoded_data], dtype=np.int16
    ).reshape(shape)
    decoded_img = predictive_decoding(pred_error)
    return decoded_img
```

计算 RMSE（均方根误差）部分：

```
def calculate_rmse(original, decompressed):
```

```
    mse = np.mean((original - decompressed) ** 2)

    rmse = np.sqrt(mse)

    return rmse
```

b)　实验结果截图

1. 哈夫曼编码压缩、解压图像：

（1） web.bmp

```
PS D:\Desktop\DIP\dip_test6\code> & D:/Python/python.exe d:/Desktop/DIP/dip_test6/code/task1.py
开始压缩
源图像的像素个数：12121088
编码完毕,12121088个像素值已编码
压缩时间：2.3703秒
开始解压缩
解码完毕,12121088个像素值已解码
解压缩时间：8.4349秒
RMSE: 0.0
```

web_compressed.txt	2024/10/18 16:04	文本文档	11,243 KB
web_decompressed.bmp	2024/10/18 16:04	BMP 文件	11,839 KB
web_huffman_codes.txt	2024/10/18 16:04	文本文档	7 KB

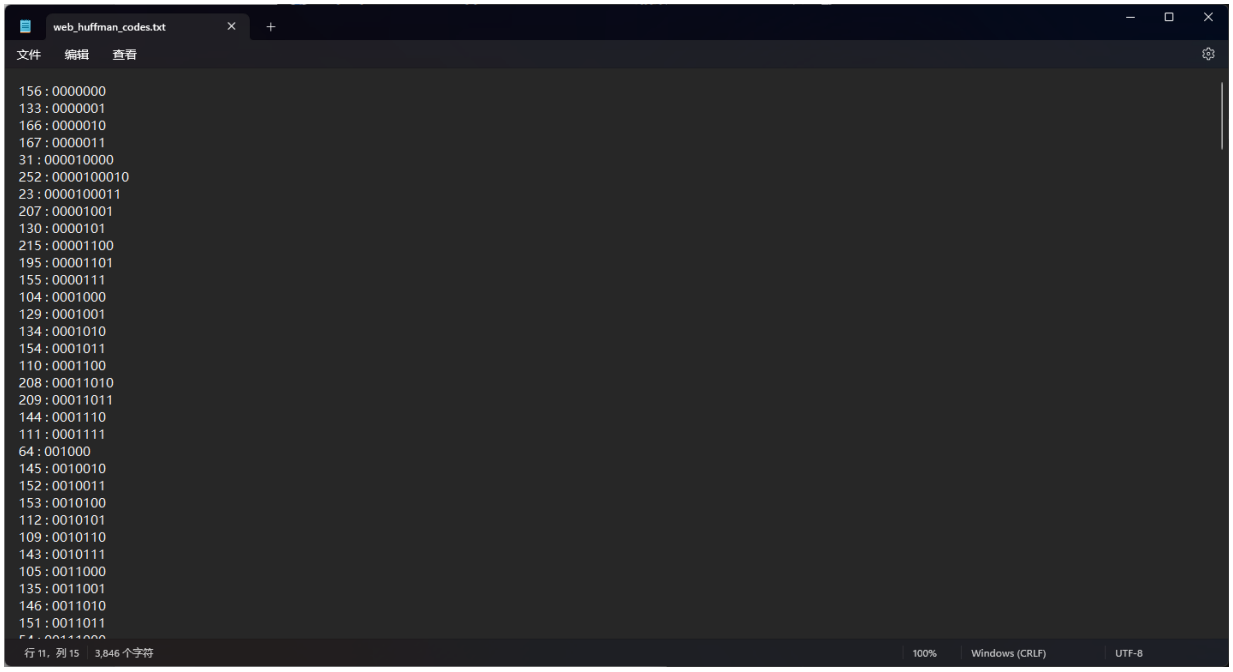
web.bmp	2024/10/17 12:45	BMP 文件	11,839 KB

由于哈夫曼编码是无损压缩，所以 RMSE=0，压缩、解压缩后和源文件一样大。

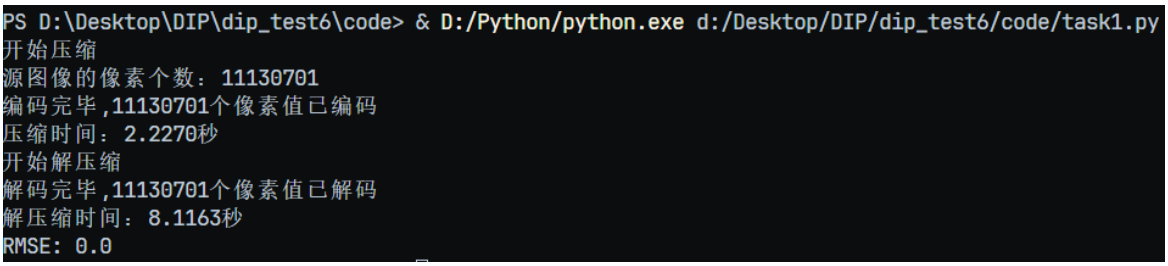
生成的文件中：

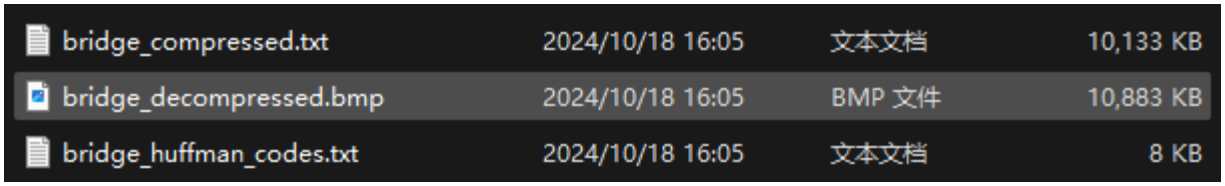
web_compressed.txt 是将 web 图像像素值平铺展开后，经过哈夫曼编码的二进制 bit 流文件，windows 无法直接查看，打开会显示乱码。其体积为 10.9MB，相比于源图像 11.5MB，压缩比为 94.8%

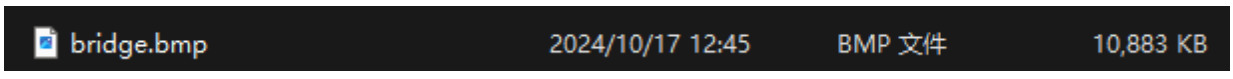
web_huffman_codes.txt 存储了 web 图像中所有像素值对应的哈夫曼编码。文件体积 3.99KB，共 249 行，也即源图像由 249 种不同灰度值组成。



（2） bridge.bmp



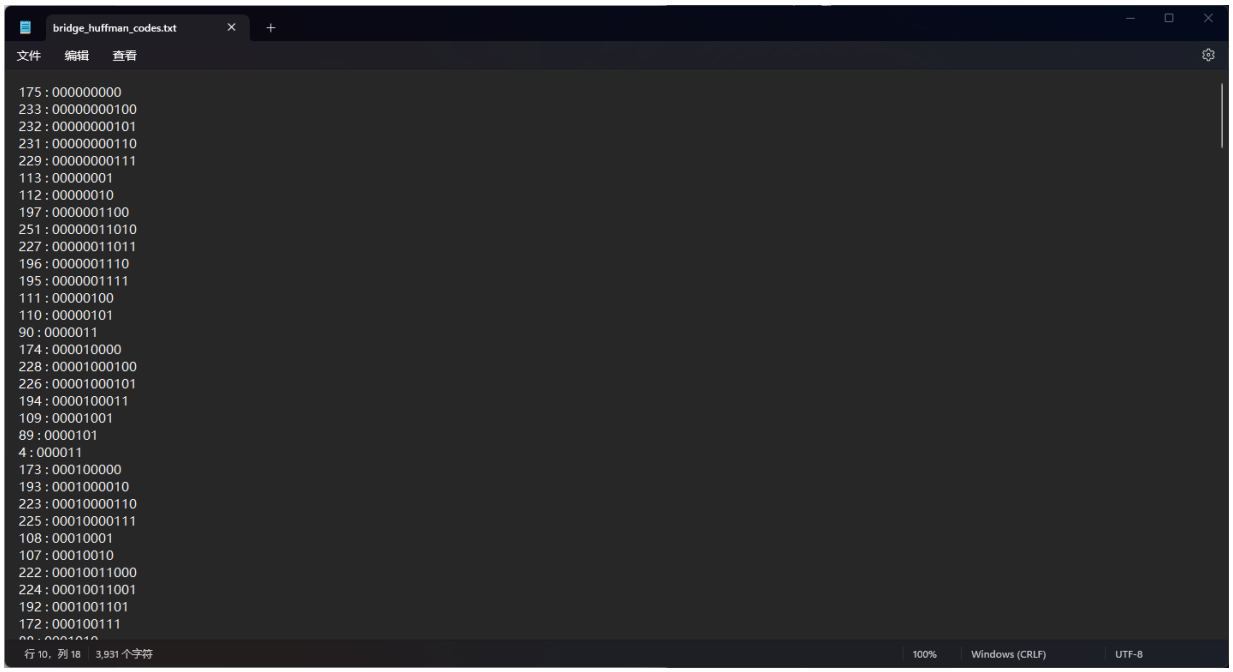




同理，哈夫曼编码为无损压缩，解压后图片大小不变，故 RMSE 为 0.

压缩后生成的 bridge_compressed.txt 为二进制 bit 文件，同样 windows 无法直接查看。后续不再展示该类文件。该文件大小为 9.89MB，相比于源图像 10.6MB，压缩比为 93.3%。

Bridge_huffman_codes.txt 中存储了各个像素值对应的哈夫曼编码。共 256 行，表示源图像由 256 个灰度级构成。



2. 无损预测编码压缩、解压缩图像：

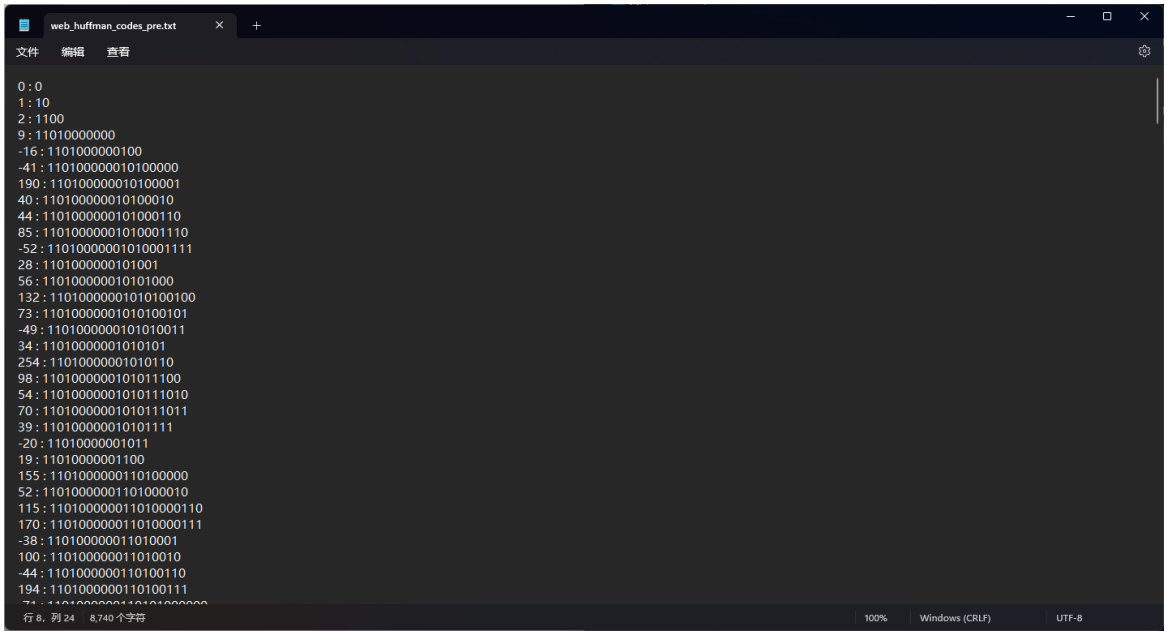
（1） web.bmp

```
PS D:\Desktop\DIP\dip_test6\code> & D:/Python/python.exe d:/Desktop/DIP/dip_test6/code/task1.py
开始压缩
编码完毕,12121088个像素值已编码
压缩时间：8.4817秒
开始解压缩
解码完毕,12121088个像素值已解码
解压缩时间：7.1608秒
RMSE: 0.0
```

无损预测编码方式也为无损压缩，故解压后的图像 RMSE 计算为 0.

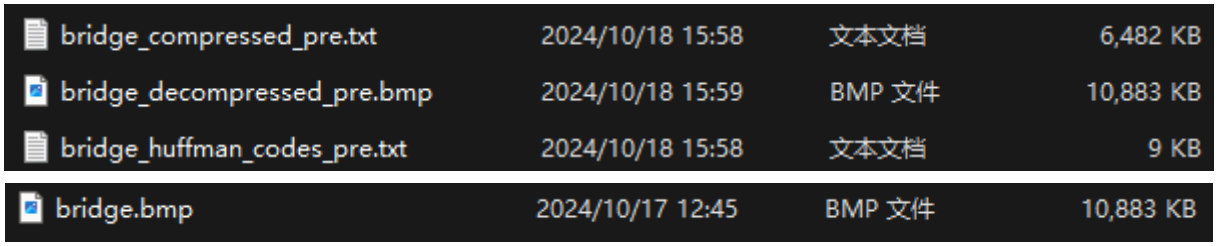
Web_compressed_pre.txt 为无损预测编码的误差进行哈夫曼编码后的结果，文件大小为 3.49MB，相比于源图像 11.5MB，压缩比为 30.3%，效果极好。

Web_huffman_codes.txt 为无损预测编码的各个误差值的哈夫曼编码。



（2） bridge.bmp

```
PS D:\Desktop\DIP\dip_test6\code> & D:/Python/python.exe d:/Desktop/DIP/dip_test6/code/task1.py
开始压缩
编码完毕,11130701个像素值已编码
压缩时间：7.8136秒
开始解压缩
解码完毕,11130701个像素值已解码
解压缩时间：9.6155秒
RMSE: 0.0
```

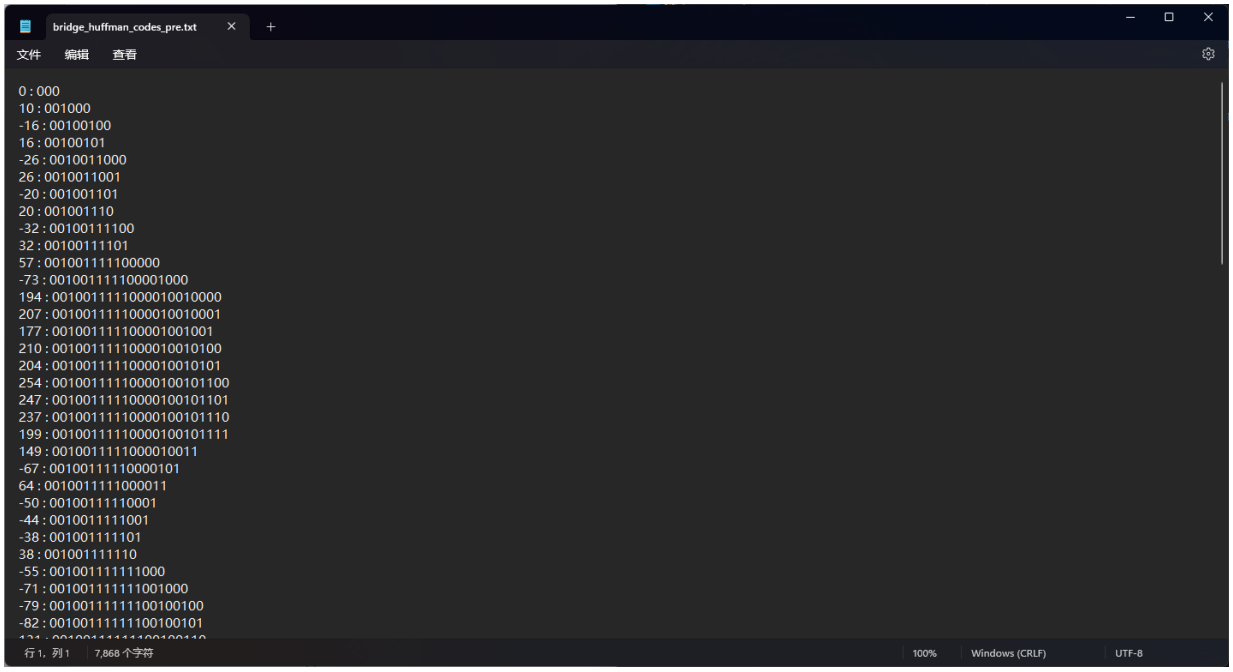


同理，无损预测编码压缩为无损压缩，故解压后的图像和源图像等大，RMSE 为 0.

Bridge_compressed_pre.txt 为无损预测编码的误差的哈夫曼编码，同样为二进制 bit 流文件，windows

无法直接查看。文件大小为 6.32MB，相比于源图像 10.6MB，压缩比达到了 59.6%，效果较好。

Bridge_huffman_codes_pre.txt 文件存储了无损压缩中各个误差对应的哈夫曼编码。



c) 实验小结

由本次实验可知，哈夫曼编码压缩和无损预测编码压缩，两者均是无损压缩，不存在数据丢失。

如果直接对原图像的所有像素值进行哈夫曼编码，进行压缩，压缩比并不高。编码的平均码长接近图像的熵。

但如果首先对源图像的像素值进行无损预测编码，生成误差像素值，再对误差像素值进行哈夫曼编码，进行压缩，可以达到良好的压缩比。因为无损预测编码可以用邻近的像素来预测当前像素，所得误差像素值的熵比原图像小，码长更短。