

Project-2: 数字水印嵌入与鲁棒性测试实验

一、实验目的

- 掌握数字水印的基本概念及嵌入与提取方法。
- 实现数字水印在图像中的嵌入与提取功能。
- 验证水印的鲁棒性，通过常见图像攻击（翻转、平移、裁剪、噪声、压缩、对比度调整等）测试水印提取的可靠性。
- 熟悉 Python 图像处理与数字水印实验流程。

二、实验原理

数字水印 (Digital Watermarking) 是一种在数字媒体中嵌入信息的方法，用于版权保护、内容认证或追踪来源。

2.1 水印嵌入原理

载体图像 (Cover Image) I : 原始图像，用于嵌入水印。

水印图像 (Watermark) W : 二值或灰度图像，表示需要嵌入的水印信息。

嵌入参数:

- 强度系数 α : 控制水印嵌入的显著程度和可见性。
- 嵌入算法: 可在空域或变换域进行。

公式表示 (空域线性嵌入):

$$I_{wm}(x, y) = I(x, y) + \alpha \cdot W(x, y)$$

2.2 水印提取原理

- 提取算法需要已知水印嵌入参数和原始图像（或使用盲提取算法）。

2. 提取公式：

$$\hat{W}(x, y) = \frac{I_{\text{attacked}}(x, y) - I(x, y)}{\alpha}$$

3. 鲁棒性测试

- 水平翻转 (flip_h)、垂直翻转 (flip_v)、平移 (translate)、裁剪 (crop)、对比度调整 (contrast)、噪声叠加 (noise)、JPEG 压缩 (不同质量因子)。
- 提取准确率： $\text{Accuracy} = (\text{正确提取的水印像素数} / \text{水印总像素数}) \times 100\%$

4. 图像质量评价

- PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) :

$$\text{PSNR} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{255^2}{\text{MSE}} \right), \quad \text{MSE} = \frac{1}{mn} \sum_{i,j} (I(i, j) - I_{wm}(i, j))^2$$

三、实验思路与方法

1. 准备图片：

- cover.jpg：载体图像， 1080×1080 像素。



- wm.png: 水印图像，二值或灰度。



2. 嵌入水印

- 使用 Python 脚本 watermark.py, 指定强度系数 α 。
- 输出 watermarked.png。
- 记录嵌入后图像的 PSNR 值。

3. 提取水印

- 从 watermarked.png 或经过攻击的图像中提取水印。
- 计算提取准确率。

4. 鲁棒性测试

- 对嵌入水印的图像执行一系列攻击。
- 提取水印并统计每种攻击下的准确率。

5. 结果分析

- 水印的可见性与嵌入强度 alpha 的关系。
- 不同攻击下的提取准确率，评估水印鲁棒性。

四、实验结果

```
PS D:\实验文件\shujia> py watermark.py --cover cover.jpg --watermark wm.png --out demo_out --alpha 9.5
Saved watermarked.png
Extraction accuracy (clean): 99.81% PSNR cover->watermarked: 39.33 dB
Attack flip_h: accuracy = 33.11% saved attacked image & extracted map.
Attack flip_v: accuracy = 66.86% saved attacked image & extracted map.
Attack translate: accuracy = 54.60% saved attacked image & extracted map.
Attack crop80: accuracy = 79.92% saved attacked image & extracted map.
Attack contrast_high: accuracy = 48.10% saved attacked image & extracted map.
Attack contrast_low: accuracy = 99.81% saved attacked image & extracted map.
Attack noise_sigma5: accuracy = 98.13% saved attacked image & extracted map.
Attack jpeg_q70: accuracy = 99.20% saved attacked image & extracted map.
Attack jpeg_q50: accuracy = 86.39% saved attacked image & extracted map.

Summary:
flip_h      : 33.11%
flip_v      : 66.86%
translate   : 54.60%
crop80      : 79.92%
contrast_high : 48.10%
contrast_low : 99.81%
noise_sigma5 : 98.13%
jpeg_q70    : 99.20%
jpeg_q50    : 86.39%
PS D:\实验文件\shujia>
```

五、实验分析

1. 水印嵌入强度 alpha 越大，提取准确率越高，但对图像可视质量影响也更明显。
2. 不同攻击对水印提取影响不同： - 几何攻击（翻转、平移、裁剪）对提取准确率影响大。 - 信号处理攻击（噪声、压缩、对比度调整）影响相对较小。
3. 验证了嵌入式水印在图像版权保护中的可行性与鲁棒性。

六、结论

1. 成功实现了数字水印的嵌入与提取。
2. 测试了水印在各种攻击下的鲁棒性，验证了水印算法的可靠性。
3. 实验强调了水印嵌入参数选择对图像质量和鲁棒性的平衡。
4. 提示实际应用中可结合 DCT/DWT 等变换域算法进一步提高鲁棒性。