

数字水印算法说明

1. 算法概述

本项目实现的数字水印算法是一种基于离散余弦变换（DCT）的盲水印算法。它能够在不影响图像视觉质量的前提下，将水印信息嵌入到图像中，并且在不需要原始图像的情况下能够提取出水印信息。

该算法的主要特点：

- 盲水印：提取水印时不需要原始图像
- 不可见性：嵌入的水印对人眼不可见
- 一定的鲁棒性：能够抵抗常见的图像处理操作

2. 算法原理

2.1 DCT变换基础

离散余弦变换（DCT）是一种将信号从空间域转换到频率域的变换方法。对于图像处理，DCT具有以下特性：

- 能量集中：图像的大部分能量集中在低频分量
- 去相关性：将图像的空间相关性去除
- 对视觉感知友好：人类视觉系统对不同频率分量的敏感度不同

对于8x8的图像块，DCT变换定义为：

$$F(u, v) = \frac{2}{N} C(u) C(v) \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(i, j) \cos\left(\frac{(2i+1)u\pi}{2N}\right) \cos\left(\frac{(2j+1)v\pi}{2N}\right)$$

其中， $N = 8$ ， $C(k)$ 是规范化系数：

$$C(k) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{if } k = 0 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

逆DCT变换定义为：

$$f(i, j) = \frac{2}{N} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} C(u) C(v) F(u, v) \cos\left(\frac{(2i+1)u\pi}{2N}\right) \cos\left(\frac{(2j+1)v\pi}{2N}\right)$$

2.2 水印嵌入流程

1. 图像预处理：

- 将输入图像从RGB颜色空间转换到YCrCb颜色空间
- 仅使用Y通道（亮度通道）进行水印嵌入，因为人类视觉系统对亮度变化更敏感

2. 水印生成：

- 生成一个二进制随机序列作为水印，或根据用户提供的消息生成

- 水印大小默认为8x8，可根据需要调整

3. DCT变换与水印嵌入：

- 将Y通道图像分成8x8的非重叠块
- 使用伪随机序列选择要嵌入水印的块位置（基于密钥）
- 对选定的块进行DCT变换
- 在DCT系数的中频区域嵌入水印信息：

$$F'(u, v) = F(u, v) + \alpha \cdot w$$

其中， $F(u, v)$ 是原始DCT系数， α 是水印强度因子， w 是水印比特（取值为-1或1）

- 选择(4,4)位置的系数进行嵌入，这个位置属于中频区域，在不可见性和鲁棒性之间取得平衡

4. 图像重构：

- 对修改后的DCT块进行逆DCT变换
- 将处理后的Y通道与原始Cr、Cb通道合并
- 转换回RGB颜色空间，得到带水印的图像

2.3 水印提取流程

1. 图像预处理：

- 将带水印的图像从RGB颜色空间转换到YCrCb颜色空间
- 提取Y通道

2. DCT变换与水印提取：

- 使用与嵌入时相同的密钥生成相同的伪随机序列，确定水印嵌入位置
- 对选定的块进行DCT变换
- 从(4,4)位置的DCT系数中提取水印比特：

$$w' = \begin{cases} 1 & \text{if } F'(u, v) > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

3. 水印恢复：

- 将提取的水印比特重塑为原始水印大小

2.4 相似度计算

为了评估提取的水印与原始水印的相似性，使用归一化汉明距离：

$$similarity = 1 - \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} |w_i - w'_i|$$

其中， N 是水印的总比特数， w_i 是原始水印的第*i*个比特， w'_i 是提取的水印的第*i*个比特。

相似度值在0到1之间，值越接近1，表示提取的水印与原始水印越相似。

3. 参数选择

算法的性能受以下参数影响：

- 水印大小**：默认8x8=64比特。更大的水印可以携带更多信息，但鲁棒性可能下降。
- 水印强度因子 (α)**：默认值为0.05。值越大，水印越鲁棒，但图像质量可能下降；值越小，图像质量越好，但水印可能更容易被破坏。
- 嵌入位置**：选择中频系数进行嵌入。低频系数对图像质量影响大，高频系数容易被噪声或压缩破坏。
- 密钥**：用于生成伪随机序列，决定水印嵌入的位置。不同的密钥会导致不同的嵌入位置，增加了未经授权提取水印的难度。

这些参数可以根据具体应用场景进行调整，以在不可见性、鲁棒性和水印容量之间取得最佳平衡。