

# 基于视觉特征的图像水印系统的设计与实现

车沂岳, 郭启龙, 姜明新

淮阴工学院, 江苏 淮安

收稿日期: 2021年12月16日; 录用日期: 2021年12月30日; 发布日期: 2022年1月18日

## 摘要

随着互联网的发展, 图像和音频这样的数字作品大量出现, 而因为数字作品易复制易传播, 数字作品侵权问题日益严重。数字水印技术可以非常有效的保护版权。数字水印技术通过分析人类视觉特性和重要领域的视觉掩蔽特性, 它可以使用视觉特征敏感纹理图像的对比度和特性来屏蔽人类视觉系统(HVS)。最后, 水印信息被自适应地插入到重要区域的DFT域。结果表明, 该算法是一种有效的图像水印算法, 可以有效地解决水印嵌入过程中水印容量、视觉透明度和鲁棒性之间的平衡问题。

## 关键词

视觉特征, 图像水印算法, 人类视觉系统特征, 鲁棒性

# Design and Implementation of Image Watermarking System Based on Visual Features

Yiyue Che, Qilong Guo, Mingxin Jiang

Huaiyin Institute of Technology, Huai'an Jiangsu

Received: Dec. 16<sup>th</sup>, 2021; accepted: Dec. 30<sup>th</sup>, 2021; published: Jan. 18<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

With the development of the Internet, digital works such as images and audio have proliferated, the infringement of digital works is becoming increasingly serious. As digital works are easy to be copied and spread, the problem of infringement of digital works is more and more serious. Digital watermarking is a very effective means of copyright protection. Digital watermarking technology can protect copyright effectively. Digital watermarking technology can mask the human visual system (HVS) by using the contrast and characteristics of visual feature-sensitive texture images through analyzing the characteristics of human vision and the visual masking characteristics of important fields. Finally, the watermark information is adaptively included in the DFT domain

name of the important domain. The results show that this algorithm is an effective image watermarking algorithm, which can effectively solve the balance between watermark capacity, visual transparency and robustness in the process of watermark embedding.

## Keywords

Visual Features, Image Watermarking Algorithm, Human Visual System Features, Robustness

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 课题背景和研究意义

近年来,伴随着互联网科技的发展和手机、平板电脑等智能设备的普及,图片、音频和视频等数字多媒体产品的传播变得更加简单和快捷。人们可以借助互联网和各种数字产品编辑软件如美图秀秀, Video Leap 等,对图片和视频进行美化和编辑,这在方便了数字产品的创作和分享交流的同时,也引发不少对数字多媒体产品非法的传播和篡改的版权保护问题,不仅损害了原创者和版权所有者的合法利益,同时也引起人们对网络上获得的影像信息的真实性和有效性的疑问。因此,在互联网便捷传播数字产品与信息技术高速发展的今天,如何采取有效的手段保证数字产品信息内容的安全、实现创作者的版权保护,成为了研究者们不可忽视的问题。数字水印技术能够有效地保护、认证多媒体数据的安全,在版权保护和防伪认证等应用场景发挥了十分重要的作用。数字水印技术是通过特定的方式将密钥,即水印信息加入到载体内容的本身,然后实现对母本的版权保护。数字水印技术需要满足三点:一是不可见性,即含密钥载体有较高的视觉质量,人眼不可察觉;二为鲁棒性,是抵抗普通的信号处理,恢复出具有辨识度的水印;三是具备一定的嵌入容量。在数字水印技术中,衡量水印技术实用性和有效性的两个重要指标——算法的鲁棒性和水印信息的不可见性之间的矛盾一直是阻碍水印发展的重要问题。因此如何协调两者之间的矛盾、提高他们的性能是设计鲁棒水印算法的主要问题。在已有的解决方案中,研究者们将视觉特性引用到鲁棒算法中并取得了不错的效果。所以本文通过感知图像展现的视觉特性,设计更符合人眼视觉特征的视觉特征模型。为了使水印嵌入而导致的像素变化更符合人类的视觉感知,本文设计并利用视觉特征模型调制像素的修改量,自适应地调整每个像素的修改量,实现对空间域像素的更新,来达到数字水印信息的嵌入。人作为彩色图像评价的主体,为了提高人眼对水印图像的视觉感受质量,针对人类视觉感知特性的研究至关重要。越来越多人眼视觉特性方面相关研究成果的出现,为根据人眼图像视觉特征在数字水印技术中的应用提供了条件。本文提出的基于人眼特征的感知来引导水印嵌入方法,使水印图像更加符合人类视觉系统的感知。

## 2. 数字水印技术

数字水印技术是 R.G.V. Schyndel 提出的名为 LSB 的空间域水印算法。一个灰度图像的像素由 8 位二进制数表示, LSB 算法用二值水印信息代替 8 位二进制数的最末位,完成水印信息嵌入。此算法最大的优点是嵌入容量较大并且容易实现,主要缺点是有较差的鲁棒性。Kim 等人使用结合图像局部特征来嵌入水印算法,按照图像区域的复杂度,使用不同的量化步长,在空间域的水印算法中,得到比较好的结果。数字水印技术,其核心就是在原始多媒体载体中,通过添加数字水印的方式,达到确认内容作者版权信息的目的。如图 1 所示,数字水印包含嵌入端与提取端。在嵌入端,把水印  $W$  和密钥  $k$  输入水印嵌

入器，得到含水印载体。含水印载体经信道传输，提取端将接收载体和密钥  $k$  输入水印检测器，提取到数字水印  $W'$ 。具体数字水印系统框架如下图。

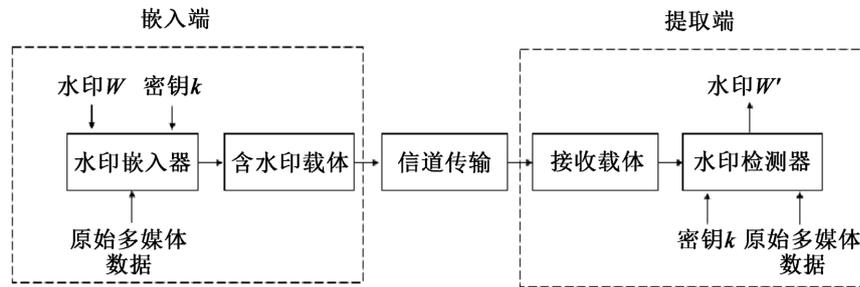


Figure 1. Digital watermarking system framework

图 1. 数字水印系统框架

此后，水印技术进入研究者的视线，受到研究者的重视，水印技术的研究得到了迅速发展许多优秀的水印算法相继被提出，大体上水印算法可分为以下两类：

**变换域水印方案：**即将水印标识信息在某种频域添加到原始载体中。常见的变换包括离散傅里叶变换 DFT。Ruanaida 最先将离散傅里叶变换应用到水印技术中，利用 DFT 的性质把信息嵌入在变换后的图像相位中，使得水印算法对抗噪声鲁棒性更好。离散余弦变换 DCT，Cox 等人基于扩频思想在 DCT 域嵌入水印，他们的实验结果证明了 DCT 域的水印算法有更良好的鲁棒性，为之后研究者们对水印算法鲁棒性提升的研究提供了很好的思路。离散小波变换 DWT，小波变换将图像变换到 DWT 域中，图像频谱同时表现出时域特性和频域特性，可实现多尺度信号分析，通过利用水平、垂直和对角子带，研究局部信息特征，对滤波攻击有较好的抵抗性。

**空间域水印：**是把水印信息直接添加到初始图像载体中。处理方法简单，运行效率高，信息嵌入容量大。最低有效位法通过将载体转换为二进制序列，然后把最低有效位替换为水印。这种算法只改变了载体信息最后一位，不可见性强，高容量，但是对常见信号攻击很敏感，表现出弱鲁棒性，难以提取出可识别的水印标识。Patchwork 是将水印嵌入到载体，表现出对图像压缩等对图像有较强攻击的鲁棒性，是一种利用统计特征的算法但该方法嵌入的数据量较低。直方图算法，也是一种利用图像统计特性的算法。图像的直方图与像素所处的位置无关，当遇到几何攻击，尽管像素的位置和大小发生改变，但是像素表现出的统计特性，即在直方图中所占的量级和比例基本保持不变，能够抵抗几何攻击。支持向量机算法，该算法根据相邻像素具有强相关性的特点建立分类模型，根据映射关系实现水印的嵌入，不可见性较好[1]。

### 3. 人类视觉特征

由调查研究知，人类的眼睛在观察事物时所获得的事物亮度感与事物背景亮度有较大关系。如图 2 所示。可知：保持  $P_1$  处的亮度不变的条件下，让  $P_2$  处的亮度值从  $B$  提升，在此过程中直到眼睛刚刚能够觉察到两者的亮度有差别为止。在亮度  $B$  下人眼能够感觉差了一级，可以求出在  $B$  亮度下的人眼主观亮度级数。上述实验说明了：

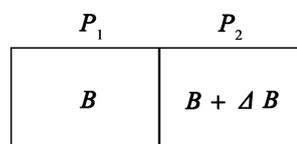


Figure 2. Luminance perception characteristics of human eyes

图 2. 人眼亮度感觉特性

1) 由于  $\Delta B_{\min}$  不是无限小量, 所以两者亮度差达到  $\Delta B_{\min}$  (可见度阈值) 时, 人眼才能感觉  $P_1$  和  $P_2$  两个图片是具有亮度差别的。由于  $\Delta B_{\min}$  不是无限小量。

2) 可察觉的最小亮度差  $\Delta B_{\min}$  因背景亮度  $B$  不同而不同。但在一个均匀亮度背景下,  $\Delta B_{\min}/B$  是相同的, 并等于一个常数  $\xi * \xi = \Delta B_{\min}/B$  称为相对对比灵敏度阈。随着环境的不同,  $\xi$  的值在 0.005 到 0.020 范围内变化。当背景亮度很高时,  $\xi$  的值甚至可以增大至 0.050。

人眼在亮度背景会有不同的敏感性和不同的反应程度。在平均亮度大的区域, 人类的眼睛对物体亮度变化敏感度低。在平均亮度低的区域反之。人眼的这种特性叫着亮度掩蔽特性, 该特性为水印的嵌入提供了前提, 只要嵌入水印之后图片的亮度改变在  $\Delta B_{\min}$  以内, 基本就不会被人眼察觉[2] [3]。

人眼不仅对亮度内的事物会有不同的敏感性, 人眼同时对不同的颜色也有不一样的反应程度。为此, 可以使用对比敏感度函数(CFS)来描述其数学形式。CFS 一般表述为人眼对事物的对比敏感度值与事物角频率 ( $f_\theta$ ) 之间的函数关系, 目前普遍采用人眼对目标的对比觉察阈值的倒数来描述。为了获得较好的水印效果, 结合 CFS 模型、CFS 在水印中的效用和水印算法的复杂性, 对比分析现有模型, 提出的水印算法选用人眼对亮度感知的 CFS ( $CFS_L$ ) 人眼对色度感知的对立色 CFS (红绿对立色  $CFS_{rg}$  和蓝黄对立色  $CFS_{by}$ ), 其模型如式(1), (3)和(4)。

1) 亮度感知的 CSF

$$CFS_L(f_\theta) = a \cdot f_\theta \cdot \exp(-b \cdot f_\theta) [1 + c \cdot \exp(b \cdot f_\theta)] \quad (1)$$

$a, b, c$  为参数,  $f_\theta$  为对象光栅感知时的角频率

$$a = \frac{540 \cdot (1 + 0.7/L)^{-0.2}}{1 + \frac{12}{\omega \cdot (1 + f_\theta/3)^2}}, b = 0.3 \cdot (1 + 100/L)^{0.15}, c = 0.06 \quad (2)$$

$L$  表示对象光栅的平均亮度;  $\omega$  表示感知对象光栅时刺激瞳孔的大小。

2) 对立色感知的 CSF

$$CFS_{rg}(f_\theta) = a \cdot e^{b(f_\theta)^c}$$

$$a = 1, b = -0.152, c = 0.893 \quad (3)$$

$$CFS_{by}(f_\theta) = a \cdot e^{b(f_\theta)^c}$$

$$a = 1, b = -0.2041, c = 0.9 \quad (4)$$

$CFS_{rg}$  和  $CFS_{by}$  描述为人眼对红绿和蓝黄对立色光栅时的彩色对比敏感度阈值[4]。

#### 4. 视觉特征在图像水印中的应用及水印算法设计

在视觉特性研究中角频率的定义为: 人眼观察光栅时, 单位视角内人眼所能感知到的所有条纹周期的数目。以  $N$  表示人眼视角  $\theta$  内观察到的条纹周期数目, 那么  $f_\theta$  的计算如下。

$$f_\theta = \frac{N}{\theta} \quad (5)$$

此水印算法在频域中实现嵌入水印, 会采用离散余弦变换(DCT)。实验发现: 图像在 DCT 变换后, 其频域图上的任何一点  $(f_x, f_y)$  反变换的空域图都是周期性明暗条纹所组成的一个光栅, 其条纹的周期数目为  $(f_x^2 + f_y^2)^{1/2}$ , 光栅的大小与原图大小一致。可以等效为把图片看成是由若干个光栅所合成。人眼感知图像即等效为感知周期数目为  $(f_x^2 + f_y^2)^{1/2}$  的一系列光栅, 其视角  $\theta$  为原图像区域所对应的空间视角;

通过 CFS 中角频率  $f_\theta$  定义[5]。

$$f_\theta = \frac{\sqrt{f_x^2 + f_y^2}}{\theta} \quad (6)$$

所以人眼感知图片时，图片上每一点对应的角频率可通过式(6)计算获得。同时代入到 CSF 中，就可以计算出图像上所有点的人眼感知对比敏感阈值。我们就可以根据人眼对比敏感视觉特征，记原始图像为  $I$ ，水印图像为  $W$  设计如下图 3 的水印算法。

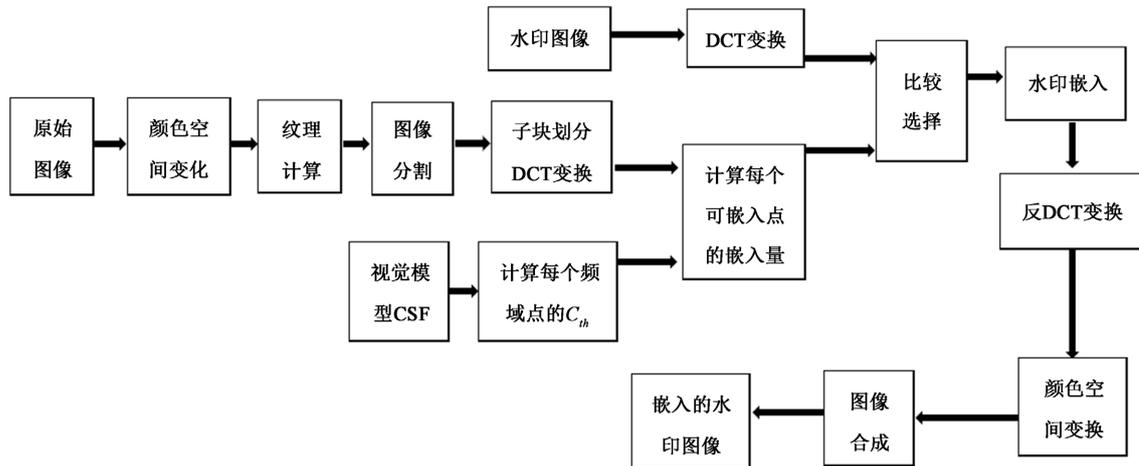


Figure 3. Flow chart of watermark embedding scheme

图 3. 水印嵌入方案流程图

水印嵌入方案流程如下：

先将图片转换成与设备无关的 CIELAB 颜色空间，得到亮度分量图( $L$ )、红绿分量图( $rg$ )和蓝黄分量图( $by$ )。找出(7)中  $I_{i1}$  为各分量图中梯度中大于平均梯度的像素点组成的部分， $I_{i2}$  为其余部分。继续计算频域中每一点的角频率，代入 CSF 模型中计算每一点的对比敏感度阈值  $C_{ith}$ ，乘以该点的强度值  $I_{i1}$ ，其结果就是该点能够嵌入水印量的最大值  $W_{ith}$  如式(8)。最后将水印图像进行颜色空间转换得到三分量图，并对每个分量图进行 DCT 变换。嵌入水印，其方法如式(9)。  $W_{is}$  为该点嵌入的水印， $K$  为嵌入强度系数 [6] [7]。

$$I_i = I_{i1} + I_{i2}, \quad i = L, rg, by \quad (7)$$

$$W_{ith} = C_{ith}(f_\theta) \times I_{i1}, \quad i = L, rg, by \quad (8)$$

$$\frac{abs(K \times W_i - W_{ith})}{W_{ith}} < 5\%,$$

$$W_{is} = K \times W_i, \quad i = L, rg, by, \\ \text{else } W_{is} = 0 \quad (9)$$

## 5. 结论

人类视觉系统的重要组成部分有色彩和亮度，视觉是人类感知世界的基础。颜色之间的差异会导致不同的视觉感知和不同的视觉掩蔽。众所周知，在一个局部区域内，颜色信息越复杂，那么这个区域的混乱程度越严重，对视觉掩蔽的效果就越强。我们结合人眼对亮度和色彩视觉特征，利用色彩亮度之间的相关性完成水印信息的嵌入，提高了水印算法的鲁棒性。

## 参考文献

- [1] 周凯. 视觉特征引导的彩色图像水印算法研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东师范大学, 2021.
- [2] 王俊. 基于鲁棒视觉属性的量化水印方法研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东师范大学, 2020.
- [3] 申静. 基于视觉特性和纹理特征的图像水印算法研究[J]. 液晶与显示, 2018, 33(6): 511-519.
- [4] 赵博. 基于数字水印的图像内容认证研究[D]: [博士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2018.
- [5] 王玮, 石胜辉. 人类视觉特性的数字水印新方案[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2016, 37(3): 304-307.
- [6] 王晶. 基于内容特征的数字图像水印方法研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 辽宁师范大学, 2011.
- [7] 任璐. 基于视觉注意机制的数字水印技术研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安电子科技大学, 2011.