

人类视觉特性的数字水印新方案

王伟¹, 石胜辉²

(1. 重庆邮电大学 移通学院, 重庆 401520;
2. 重庆理工大学 光电信息学院, 重庆 400054)

摘要: 通过分析人类视觉特性,设计一种基于人类视觉特性、图像亮度特征及图像纹理特征的水印嵌入新方案. 文中方案充分利用人类视觉特性,将水印信息嵌入到图像亮度较大和纹理复杂的区域. 测试结果表明:文中方案具有较高的透明性和较强的鲁棒性.
关键词: 人类视觉系统; 韦伯-费赫涅尔系数; 亮度特征; 纹理特征
中图分类号: TN 911.73 **文献标志码:** A

一般认为数字图像水印技术应具有安全性、透明性(不可见性)、鲁棒性. 透明性和鲁棒性实际上构成了一对基本矛盾,增大水印的嵌入强度可增强鲁棒性,但大强度的嵌入水印信息,则可能降低被保护载体图像的透明性,使其使用价值大打折扣;如果为了保持良好的透明性,降低水印嵌入量或在图像的高频部分嵌入水印等,但又会减弱水印的鲁棒性^[1-4]. 冯祥斌等^[5]将 P-Fibonacci 加密算法用到数字图像水印技术当中,提高了水印信息的嵌入量,增强了水印信息的鲁棒性,但基于 P-Fibonacci 加密算法的数字水印具有算法复杂、运算量大及在具体应用中实效性差的特点. 因此,在数字图像水印技术中,人们往往借助于人类视觉特性解决这对矛盾. 本文提出人类视觉特性的数字水印新方案.

1 人类视觉特性

1.1 亮度掩蔽特性

研究发现,人眼在观察事物时所获得的亮度感觉与背景亮度有较大关系,且人眼察觉亮度变化的能力有限. 人眼亮度感觉特性,如图 1 所示. 由图 1 可知:保持 P_1 的亮度不变,让 P_2 的亮度从 B 缓慢递增至 $B + \Delta B_{\min}$,直到眼睛刚刚觉察到两者的亮度有差别为止. 此时,可认为在亮度 B 下的亮度感觉差了一级. 用这种方法,可以求出在其他亮度下的主观亮度感觉级数. 以上实验说明了以下 2 点.

- 1) 只有两者亮度差达到 ΔB_{\min} (可见度阈值)时,人眼才能感觉 P_1 和 P_2 两个画面亮度差别. 由于 ΔB_{\min} 不是无限小量,所以人眼察觉亮度变化的能力是有限的.
- 2) 可察觉的最小亮度差 ΔB_{\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 ξ . $\xi = \Delta B_{\min}/B$ 称为相对对比灵敏度阈或韦伯-费赫涅尔系数. 随着环境的不同, ξ 的值通常在 0.005~0.020 范围内变化. 当背景亮度很高时, ξ 的值可增大至 0.050^[6].

人眼对不同亮度具有不同的敏感性,在平均亮度低的区域,亮度的少量变化就容易被人眼觉察,而在平均亮度大的区域,人眼对亮度误差敏感度低^[7]. 人眼的这种特性叫着亮度掩蔽特性,该特性为水印

P_1	P_2
B	$B + \Delta B$

图 1 人眼亮度
感觉特性
Fig. 1 Brightness
sensory properties
of the HVS

的嵌入提供了前提,只要嵌入水印之后图像的亮度改变在 ΔB_{\min} 内,那么就不可能被人眼察觉。

1.2 纹理掩蔽特性

研究表明:在图像平滑区域,少许的图像信息改变就能被人眼察觉,而在纹理复杂的区域,即便加入较多的干扰噪声,也不容易被感知,这种特性称为纹理掩蔽效应。该特性促使人们将更多的水印信息嵌入到载体图像纹理更复杂的区域。

2 嵌入强度的确定

2.1 亮度因子的确定

亮度因子是指根据人眼的亮度感觉特性和载体图像、水印图像本身的亮度信息而确定的在载体图像中嵌入水印的强度系数。亮度因子可根据韦伯-费赫涅尔系数确定,即

$$\xi = \Delta B_{\min} / B. \quad (1)$$

在背景亮度 B 确定的情况下, ξ 为确定值, ΔB_{\min} 为人眼可察觉的最小亮度差,也即是嵌入水印后允许图像亮度变化的最大值。由于水印信息 ΔB_{\min} 是载体图像本身的亮度值 B 的函数,而实际嵌入载体图像中的是一定强度的水印图像,所以需要将 ΔB_{\min} 转变为水印图像的亮度值的函数。

设水印的亮度为 B' ,那么 $\Delta B_{\min} = B\xi = B'\xi'$ 。由此可得 $\xi' = B\xi/B'$ 。其中: ξ' 为嵌入水印的亮度因子,它由载体图像和水印图像的亮度共同决定。由于 ξ 通常在 $0.005 \sim 0.020$ 范围内变化,结合多次实验,亮度因子可根据原始图像的亮度分级设为

$$\xi' = \frac{B\xi}{B'} = \begin{cases} 0.005B/B', & B > 120, \\ 0.010B/B', & 120 \leq B < 180, \\ 0.020B/B', & 180 \leq B. \end{cases} \quad (2)$$

在已知载体图像亮度 B ,水印图像亮度 B' 情况下,就可以容易得出嵌入水印的亮度因子 ξ' 。

2.2 纹理因子的确定

经2层小波分解结构图,如图2所示。纹理因子是指根据纹理掩蔽特性而确定的在原始图像中嵌入水印的强度系数。为了表征一幅图像中纹理特征的强弱,在参考文献[8-9]的基础上,借助图像小波变换后高频能量与低频能量的比值 ξ'' 表示,即 $\xi'' = (e_{HL1} + e_{HH1} + e_{LH1}) / e_{LL2}$ 。其中: e_n 为第 n 频带的能量。

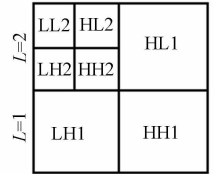


图2 经2层小波分解结构图

Fig. 2 Two stages wavelet transform

3 水印嵌入与检测

首先,计算图像的亮度因子 ξ' ,根据亮度嵌入一定强度的水印,其嵌入算法为

$$B' = B + \xi' \times B_w. \quad (3)$$

式(3)中: B 为载体图像的亮度; B_w 为水印图像的亮度; B' 为嵌入水印之后的载体图像亮度。由于采用的是线性小波变换,所以有

$$\left. \begin{aligned} \text{DWT}[B'] &= \text{DWT}[B + \xi' \times B_w] = \text{DWT}[B] + \xi' \times \text{DWT}[B_w], \\ I' &= I + \xi' \times W. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式(4)中: $\text{DWT}[\cdot]$ 为小波变换; I 为载体图像的小波系数; W 为水印经小波变换之后的系数; I' 为嵌入水印后的小波系数。

根据第一步嵌入水印之后的图像 I' 确定纹理强度因子 ξ'' ,并以此为依据,再次嵌入水印,其嵌入算法表达式为

$$I'' = I' + \xi'' \times W. \quad (5)$$

将式(4)代入式(5)有

$$I'' = I + (\xi' + \xi'') \times W = I + \alpha \times W. \quad (6)$$

式(6)中: I'' 为经过两次嵌入水印之后的图像小波系数; α 为整个过程中水印嵌入强度,令 $\alpha = \xi' + \xi''$ 。

水印嵌入有以下5个步骤:1)将载体图像分成与水印图像等大的图像块;2)对载体图像块及水印信息做两层小波分解,记为 I 和 W ;3)根据小波变换后的系数 I ,确定纹理强度因子 ξ'' ;4)将水印图像

嵌入到各块载体图像中的对应位置;5) 将结果做逆变换,得到含水印图像.

根据式(6),容易得到水印的检测(提取)公式,即

$$W = (I'' - I)/\alpha.$$

(7)

式(7)中: I'' , I 分别为可疑图像和原始未嵌入水印图像经两层小波变换后的系数

表 1 算法透明性评估

4 实验分析

采用的宿主图像为数字图像处理领域常用测试图 Lena, Babara, Peper 等灰度图像,其大小为 512 px×512 px,水印图像为自做的 128 px×128 px 的“移通学院”灰度图像.

4.1 算法透明性评估

峰值信噪比(R_{SN})描述了算法的透明性,峰值信噪比越大,透明性越高.通常 $R_{SN} \geq 30$ dB 时,视觉上就感受不到嵌入水印前后的差异.文中算法的透明性评估,如表 1 所示.由表 1 可知:人眼无法察觉含水印图像与原载体图像的差别,表明该水印嵌入算法具有很好的主观透明性;不同测试图中的 R_{SN} 都较大,说明采用文中算法嵌入水印对载体图像扭曲较轻.


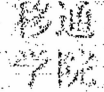


4.2 算法鲁棒性评估

图像处理领域通常用检测出的水印与初始水印的相似度衡量水印算法的抗攻击能力(即鲁棒性),相似度越高,水印系统鲁棒性越高.采用归一化相关系数(NC)表示相似度.

压缩攻击亦是数字水印领域中一种常见攻击方式,为了检测算法的抗压缩攻击,分别对含水印图像实行不同程度的压缩攻击,并与文献[10]算法对比,如表 2 所示.由表 2 可知:即使将含水印图像压缩到 30%,也能够较好地重构水印,重构水印与原始水印的相似度为 0.906 8;与文献[10]方法对比可知,文中算法的抗攻击能力明显优于文献[10]方法,这说明算法具有较强的抗 JPEG 压缩的能力.

表 2 抗压缩攻击对比



Tab. 2 Compaion of against the compress attacks

压缩质量/%	重构水印	NC 值		压缩质量/%	重构水印	NC 值	
		文中	文献[10]			文中	文献[10]
90		0.999 8	0.939 0	70		0.989 3	0.811 7
80		0.999 7	0.887 3	30		0.906 8	0.785 1

为检验算法的抗噪声污染能力,分别向含水印图像中加入不同强度的椒盐噪声和高斯噪声,其检测结果,如表 3 所示.由表 3 可知:在含水印图像中,即使加入强度为 0.05 的椒盐噪声,也能检测到较好





表 3 椒盐噪声与高斯噪声污染

Tab. 3 Against the salt, pepper and gaussian noise attacks

椒盐噪声	重构水印	NC 值		高斯噪声方差	重构水印	NC 值	
		文中	文献[10]			文中	文献[10]
0.005		0.962 2	0.912 5	0.000 5		0.878 0	0.839 2

续表

Continue table

椒盐噪声	重构水印	NC 值		高斯噪声方差	重构水印	NC 值	
		文中	文献[10]			文中	文献[10]
0.010		0.927 7	未给出	0.000 6		0.851 8	未给出
0.050		0.733 5	未给出	0.000 7		0.836 4	未给出

的水印信息,其 NC 值可大于 0.7;同时,文中算法对高斯白噪声也有较好的抵抗能力;与文献[10]比较,文中讨论的算法在抗攻击方面具有明显的优势.

5 结束语

通过分析人类视觉特性,设计一种新的数字水印方案,该方案充分利用载体图像的亮度、载体图像的纹理、水印图像的亮度及人眼的视觉特性等,算法简单,效果良好.实验表明:该方案具有较好的透明性和鲁棒性,具有一定的应用价值.

参考文献:

[1] 王炳锡,陈琦,邓峰森.数字水印技术[M].西安:西安电子科技大学出版社,2003:11.

[2] 袁大洋,肖俊,王颖.数字图像水印算法抗几何攻击鲁棒性研究[J].电子与信息学报,2008,30(5):1251-1256.

[3] 袁占亨,张秋余,陈宁.数字水印的鲁棒性分析与研究[J].计算机工程与设计,2005,26(3):614-616.

[4] 刘铁柱,张建伟,刘红岩.数字水印的鲁棒性和易脆性相结合的研究[J].微电子学与计算机,2009,26(1):155-158.

[5] 冯祥斌,陈永红.应用 P-Fibonacci 加密的模糊自适应水印算法[J].华侨大学学报(自然科学版),2014,35(3):287-292.

[6] 卢官明,宋昉.数字电视原理[M].北京:机械工业出版社,2009:1.

[7] 向德生,熊岳山,朱更明.基于视觉特性的灰度水印自适应嵌入与提取算法[J].中国图象图形学报,2006,11(7):26-35.

[8] 李谦.基于小波变换和纹理特征的水印算法的研究[J].计算机工程与设计,2006,27(14):2616-2619.

[9] 刘雅宁,郭宝龙,李雷达.基于区域能量和纹理特征的数字水印算法[J].微电子学与计算机,2007,24(10):197-200.

[10] 武风波,汪峰.基于 HVS 的小波变换数字图像水印算法[J].应用光学,2014,35(2):254-259.

New Watermark Scheme Based on
Human Visual System Characteristics

WANG Wei¹, SHI Shenghui²

(1. College of Mobile Telecommunications, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 401520, China;
2. College of Optical and Electronic information, Chongqing University of Technology, Chongqing 400054, China)

Abstract: Analysis of the human visual system (HVS) characteristics, a new scheme which based on the human visual system characteristics, image brightness and texture features have been designed . The scheme makes use of HVS, embed the watermark into the brightest area and the intricate texture area. After testing, the scheme has a higher transparency and stronger robustness.

Keywords: human visual system; Weber-Fechner ratio; bright features ; texture features