

# 基于关系的提升小波变换域自适应水印方案

熊祥光

(贵州师范大学 大数据与计算机科学学院, 贵阳 550001)

**摘要:** **目的** 为了提高嵌入水印后图像的不可感知性和抵抗攻击的能力, 提出一种新的基于关系的提升小波变换域自适应图像水印算法。 **方法** 先对水印信号进行预处理以增强水印信号的安全性, 然后对载体图像进行互不重叠的分块并对每一分块进行二级提升小波变换, 其次根据选定的阈值、每一分块选定的系数差值的绝对值及每一分块的亮度和纹理掩蔽特性, 自适应地调整选定的一对系数的大小关系以嵌入水印信号, 最后进行提升小波逆变换得到嵌入水印后的图像。提取水印时, 不需要原始载体图像的参与。 **结果** 大量的仿真实验表明, 该算法具有较好的不可感知性, 对常规的信号处理和部分 Adobe Photoshop CS6 软件处理也具有较强的鲁棒性。与相似的水印技术相比, 该算法具有更好的抗攻击性能。 **结论** 提出的算法能满足图像版权保护应用的需要。

**关键词:** 图像水印; 提升小波变换; 关系嵌入; 自适应; 鲁棒性

**中图分类号:** TS865 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)01-0174-06

## Adaptive Watermarking Scheme Based on Relationship in LWT Domain

XIONG Xiang-guang

(School of Big Data and Computer Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

**ABSTRACT:** The work aims to propose a new adaptive image watermarking algorithm based on relationship in lifting wavelet transform (LWT) domain in order to improve the imperceptibility and the ability against attacks of watermarked image. Firstly, the watermarking signal was preprocessed to enhance its security, and then the carrier image was divided into non-overlapping blocks and the 2-level LWT was performed on each block. Secondly, according to the selected threshold, the absolute difference value of the selected coefficients, and the brightness and texture masking of each block, the watermarking signal was embedded by adaptively adjust their relationship of the selected coefficients. Finally, the watermarked image was obtained by LWT. In the watermarking extraction, the original carrier image was not required. A lot of simulation experiments showed that the proposed algorithm had better imperceptibility and it also had a strong robustness against conventional signal processing and part of Adobe Photoshop CS6 software processing. Compared with similar watermarking technologies, the proposed algorithm had a better capability against attacks. The proposed algorithm can meet the needs of application of image copyright protection.

**KEY WORDS:** image watermarking; lifting wavelet transform; relation embedding; adaptive; robustness

随着计算机技术、网络技术和数字技术的飞速发展, 在网络环境中如何有效地保护数字多媒体产品的版权已成为多媒体信息安全领域一个重要的问题。数字水印技术的出现为解决多媒体版权保护和认证问

题提供了一种潜在的解决方案。目前, 由于变换域水印技术具有较好的不可感知性和鲁棒性, 因此大部分的水印技术属于变换域水印技术。

常见的变换域数字水印技术有离散小波变换

收稿日期: 2016-02-20

基金项目: 国家自然科学基金(61309006); 贵州省科学技术厅、贵州师范大学联合科技基金(黔科合 LH 字[2014]7041 号); 贵州省教育厅自然科学基金(黔教合 KY 字[2015]434); 贵州省教育厅创新群体重大项目(黔教合 KY 字[2016]027)

作者简介: 熊祥光(1984—), 男, 硕士, 贵州师范大学讲师, 主要研究方向为图像处理与数字水印。

域<sup>[1,2,4,6-9,12-15]</sup>、离散余弦变换域<sup>[3,10-11]</sup>、奇异值分解变换域<sup>[1,14-15]</sup>、Contourlet 域<sup>[16-17]</sup>、CT 域<sup>[18]</sup>和这几种变换的混合域等。文献[1-3]提出基于量化的嵌入方法，都表现出较好的不可感知性和鲁棒性。文献[7]结合量化和关系嵌入方法的优点，提出一种基于量化和关系的数字水印算法。文献[8]选择在提升小波变换域，采用均值量化的嵌入方法嵌入水印信号。文献[9]提出基于量化和关系的水印算法，在提取水印信号时，先分别采用量化和关系方法提取出 2 个水印信号，之后再选择性能最好的水印信号作为最终提取的水印，实验结果表明该算法具有抵抗多种攻击的能力。文献[10-11]提出基于离散余弦变换的数字水印算法，采用关系的嵌入规则，提取水印时不需要原始载体信号的参与，属于盲水印技术。文献[12]提出一种基于关系的离散小波变换域水印技术，在嵌入水印信号时，根据比较选定的中心系数与邻域系数均值的大小关系来嵌入水印信号。文献[13]提出一种基于关系的提升小波变换域水印方案，采用调整小波系数大小关系的方法来嵌入水印信号。实验结果表明，基于关系嵌入方法的数字水印方案具有较好的不可感知性和抵抗攻击的能力，但是这些算法在调整系数的关系来嵌入水印信号时，未考虑到载体图像的掩蔽特性，使嵌入水印信号后的含水水印图像的不可感知性和鲁棒性不能达到较好的平衡。鉴于此，在充分考虑每一分块选定的系数差值的绝对值及每一分块的亮度和纹理掩蔽特性的基础上，提出一种新的基于关系的提升小波变换域自适应图像水印方案。该方案的水印嵌入过程和提取水印过程简单，非常容易实现。实验结果表明，该算法具有较好的不可感知性和抵抗多种攻击的能力。

### 1 人类视觉系统的掩蔽特性

评估鲁棒数字水印系统的性能指标一般是嵌入的水印容量、含水水印图像的不可感知性和含水水印图像抵抗攻击的能力。一般地，嵌入的水印容量越多（嵌入强度越大），水印算法的鲁棒性则越强，但是不可感知性则越差。相反，嵌入的水印容量越少（嵌入强度越小），水印算法的鲁棒性则越弱，但是不可感知性则越好，因此，为了使水印算法的不可感知性和鲁棒性达到较好的折中，可利用人类视觉系统的掩蔽特性在满足水印不可感知的前提下，最大限度地增加水印的嵌入容量。

1) 对原始载体图像分块后，设第  $k$  分块  $B_k$  的标准方差为  $\sigma_k$ ， $\sigma_{\max}$  和  $\sigma_{\min}$  分别表示所有分块标准方差的最大值和最小值，则可用式(1)来近似表示该分块的纹理复杂性。一般地， $\sigma_k$  越大，表明水印的嵌入强度越大，反之，表明水印的嵌入强度越小。

$$\sigma_k = \frac{\sigma_k - \sigma_{\min}}{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}} \quad (1)$$

2) 设第  $k$  分块  $B_k$  的灰度平均值为  $A_k$ ， $A_{\max}$  和  $A_{\min}$  分别为所有  $A_k$  的最大值和最小值，则可用式(2)来近似表示该分块的亮度特性。同理， $A_k$  越大，表明水印的嵌入强度越大，反之，表明水印的嵌入强度越小。

$$A_k = \frac{A_k - A_{\min}}{A_{\max} - A_{\min}} \quad (2)$$

为了使嵌入水印后的图像失真不是太大，分别将纹理掩蔽  $\sigma_k$  和亮度掩蔽  $A_k$  归一化到区间  $[a, b]$  和  $[c, d]$  上，即式(1)和式(2)可分别转化为式(3)和式(4)。

$$\sigma_k = \frac{(b-a)(\sigma_k - \sigma_{\min})}{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}} + a \quad (3)$$

$$A_k = \frac{(d-c)(A_k - A_{\min})}{A_{\max} - A_{\min}} + c \quad (4)$$

## 2 方案设计

### 2.1 水印嵌入过程

水印嵌入框图见图 1。该水印嵌入算法采用基于预设的阈值  $K$ 、选定的一对系数差的绝对值、每一分块亮度和纹理掩蔽特性自适应调整选定的一对系数的大小关系来嵌入水印信号，详细的水印信号嵌入步骤如下所述。

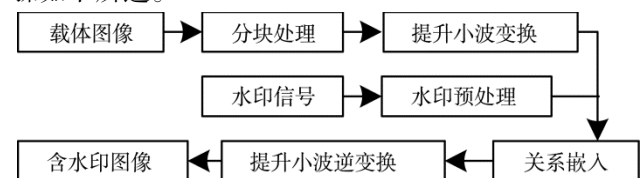


图 1 水印嵌入

Fig.1 Flow chart of watermarking embedding

1) 为了增强水印的安全性和鲁棒性，采用文献[9]中的混沌加密和 Arnold 置乱算法对原始水印图像进行预处理以得到待嵌入的水印信号。

2) 对图像进行互不重叠的  $8 \times 8$  分块。首先计算每一分块的均值和标准方差，并分别得到所有分块均值和标准方差的最大值和最小值；其次根据式(1)和式(2)近似计算每一分块的亮度掩蔽特性和纹理掩蔽特性；最后再根据式(3)和式(4)来近似表示各个分块的亮度掩蔽特性和纹理掩蔽特性。

3) 对每一分块进行二级提升小波变换，并选择  $LH_2$  子带作为待嵌入水印的子带。如果  $LH_2(2,1) < LH_2(1,2)$ ，标志位  $Flag=0$ ，否则，标志位  $Flag=1$ 。按以下的规则嵌入每一位水印信号。

```

Dif = abs(LH2(1,2) - LH2(2,1))
If Flag==0 && Wk==0
If Dif < K
LH2(1,2)=LH2(1,2)+(Dif+K+σk+Ak)/2
  
```

```

LH2(2,1)=LH2(1,2) - (Dif+K+σk+Ak)/2
End
End
If Flag == 1 && Wk == 1
  If Dif < K
    LH2(1,2)=LH2(1,2) - (Dif+K+σk+Ak)/2
    LH2(2,1)=LH2(2,1)+(Dif+K+σk+Ak)/2
  End
End
If Flag == 1 && Wk == 0
  LH2(1,2) = LH2(1,2)+(Dif+K+σk+Ak)/2
  LH2(2,1) = LH2(2,1) - (Dif+K+σk+Ak)/2
End
If Flag == 0 && Wk == 1
  LH2(1,2) = LH2(1,2) - (Dif+K+σk+Ak)/2
  LH2(2,1) = LH2(2,1)+(Dif+K+σk+Ak)/2
End

```

其中: abs 为取绝对值运算; W<sub>k</sub> 为待嵌入的一位水印信号。

4) 对嵌入水印后的子带和其他子带进行二级提升小波逆变换, 得到含水印的分块。当所有的水印信号嵌入完毕后就可以得到嵌入水印后的图像。从水印嵌入过程可知, 该算法的水印信号嵌入强度由 Dif, K, a, b, c 和 d 6 个参数确定。参数 Dif 由选择的 2 个系数差的绝对值确定, 不需要手动选择, 而参数 K, a, b, c 和 d 需要。若需要得到不可感知性较好的含水印图像, 则这几个参数的值可以调小, 反之可以调大。若图像纹理较复杂或亮度较亮, a, b, c 和 d 的值可以调大, 反之可以调小。

### 2.2 水印提取过程

水印提取见图 2。该算法的提取过程非常简单, 并且不需要原始载体图像的参与, 详细的水印信号提取步骤如下所述。

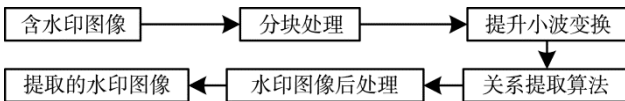


图 2 水印提取

Fig.2 Flow chart of watermarking extraction

1) 对嵌入水印后的图像(可能已经遭受到恶意或非恶意的攻击处理)进行互不重叠的 8×8 分块。

2) 对每一分块进行二级提升小波变换, 并选择 LH<sub>2</sub> 子带作为待提取水印信号的子带。

3) 如果 LH<sub>2</sub>(1,2)>LH<sub>2</sub>(2,1), 提取的水印位 W'=0, 否则, 提取的水印位 W'=1。

4) 对提取的水印图像进行混沌解密和逆 Arnold 置乱后处理, 得到最终提取的水印图像。

## 3 仿真实验结果及分析

### 3.1 不可感知性测试

为测试该算法的性能, 在 Windows 7 操作系统和

Matlab R2007b 平台上对该算法进行了仿真实验。所用的原始载体图像为 512×512 的 256 级标准 Lena 和 Baboon 灰度图像。水印信号采用大小为 64×64, 标识“数字水印”的有意义的二值图像。实验中, 式(3)中的 a 和 b 分别为 4 和 16, 式(4)中的 c 和 d 分别为 4 和 16, 阈值 K 的值为 6, 相应的实验结果见图 3。由图 3 可知, 在视觉上人眼很难分辨出原始载体图像和含水印图像的差别, 表明该算法具有较好的不可感知性。图 3f 是从嵌入水印后的 Lena 图像提取的水印图像, 从图 3f 可见, 当含水印的图像未受到任何攻击时, 能完整地恢复原始的水印图像。

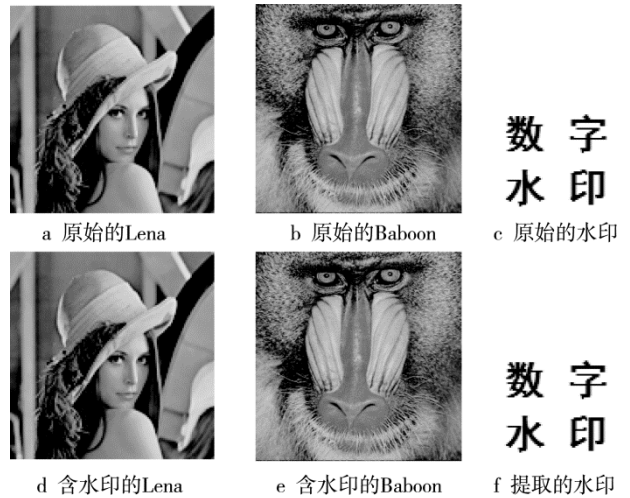


图 3 不可感知性实验测试

Fig.3 Experimental results of transparency

为了能客观地测试该算法的有效性, 采用峰值信噪比 (PSNR) 来客观评判原始载体图像与含水印图像的差别。采用归一化互相关 (NC) 系数来客观评判原始水印图像与提取的水印图像的相似性。PSNR 和 NC 的计算公式见式(5)和式(6)。

$$PSNR=10\lg(M \times N \times I_{\max}^2 / (\sum \sum (I-I')^2)) \quad (5)$$

$$NC=\sum \sum (W' \oplus \bar{W}) / (H \times G) \quad (6)$$

式中: M 和 N 分别为原始载体图像的长和宽; I 和 I' 分别为原始载体图像和含水印的图像; I<sub>max</sub> 为原始图像像素的最大值; H 和 G 分别为水印图像的长和宽; W' 为提取的水印图像;  $\bar{W}$  为对原始水印图像进行逻辑非运算; 符号  $\oplus$  为异或运算。

仿真实验结果表明, 嵌入水印后的 Lena 图像和 Baboon 图像的 PSNR 值分别为 39.48, 32.87 dB。可以看出, Baboon 图像的纹理越复杂, 基于提出的算法, 水印嵌入强度就越大, 造成的图像失真也越大, PSNR 值就越低。当含水印的 Lena 图像未受到攻击时, 提取的水印图像的 NC 值为 1.00。

### 3.2 抗攻击能力测试

为了测试该算法抵抗攻击的性能, 对嵌入水印后的 Lena 图像进行诸如维纳滤波、质量因子为 50 的 JPEG 有损压缩和均值为 0, 方差为 0.01 的椒盐噪声

等常规图像处理和 Adobe Photoshop CS6 软件处理, 相应的实验结果见表 1。从表 1 可以看出, 即使已遭受到攻击后的含水印图像的 PSNR 值较低, 提取的水印图像有一定程度的失真, 但是人眼还是能分辨出提取

的水印图像, 其视觉效果还是令人满意的, 表明该算法在满足水印信号不可感知性的条件下, 还具有抵抗诸如维纳滤波、椒盐噪声、JPEG 压缩、模糊及锐化等攻击的能力。

表 1 鲁棒性实验结果  
Tab.1 Robustness results

图像	实验结果	维纳滤波	椒盐噪声	JPEG压缩	高斯模糊	锐化边缘	智能锐化
Lena	PSNR	35.82	25.21	34.18	10.83	12.55	12.52
	NC	0.96	0.90	0.97	0.90	0.99	0.99
	提取的水印图像						
		数字水印	数字水印	数字水印	数字水印	数字水印	数字水印
Baboon	PSNR	25.55	25.03	26.84	14.35	17.49	16.82
	NC	0.85	0.92	0.98	0.75	0.99	0.98
	提取的水印图像						
		数字水印	数字水印	数字水印	数字水印	数字水印	数字水印

### 3.3 与其他水印算法的比较

为进一步验证该算法的有效性, 将该算法与相似的文献[1]、文献[8]、文献[10]和文献[12—13]中提出的算法进行比较。对于文献[1]中的算法, 先对载体图像进行二级离散小波变换, 之后对  $LL_2$  子带进行不重叠  $2 \times 2$  的奇异值分解, 最后通过量化方法嵌入水印信号。对于文献[8]中的算法, 先对载体图像进行  $8 \times 8$  的分块, 之后对每一分块进行离散提升小波变换, 最后通过量化的方法嵌入水印信号。对于文献[10]中的算法, 先将载体图像转换为灰度图像, 然后进行  $8 \times 8$  的分块离散余弦变换, 最后采用关系的方法嵌入水印信号。对于文献[12]中的算法, 先对载体图像进行二级离散小波变换并选择

$LH_2$  子带作为待嵌入水印的子带, 之后根据比较选定的中心系数与 4 个邻域系数均值大小之间的关系来嵌入水印信号。对于文献[13]中的算法, 先对原始的载体图像进行二级提升小波变换, 其次对中频子带  $LH_2$  进行不重叠的  $2 \times 2$  分块, 最后对每一分块选定的小波系数对采用关系的嵌入方法嵌入水印信号。

为使 6 种方法可公平地进行比较, 通过调整相应的嵌入强度, 使通过 6 种算法在 Lena 图像中嵌入水印后的 PSNR 值基本相同 (6 种算法的 PSNR 值都约为 39.50 dB)。对分别采用 6 种方法嵌入水印后的图像分别进行常规信号处理和 Adobe Photoshop CS6 软件攻击实验(限于篇幅, 以含水印的 Lena 图像为例), 相应的实验结果见表 2—4。

表 2 抗常规图像处理攻击实验结果  
Tab.2 Experimental results against common image processing attacks

攻击类型	文献[1]		文献[8]		文献[10]		文献[12]		文献[13]		提出的算法	
	PSNR	NC	PSNR	NC	PSNR	NC	PSNR	NC	PSNR	NC	PSNR	NC
中值滤波	33.57	0.98	33.66	0.98	34.53	0.94	33.99	0.68	34.04	0.91	34.11	0.94
维纳滤波	35.33	1.00	35.35	1.00	36.44	0.96	35.79	0.72	35.59	0.94	35.81	0.96
低通滤波	36.94	0.98	36.96	0.99	37.97	0.98	37.42	0.85	37.43	0.98	37.52	0.99
随机噪声	33.04	0.99	33.00	0.99	32.69	0.97	33.22	0.74	32.96	0.94	32.86	0.98
高斯噪声	20.03	0.56	19.98	0.49	19.65	0.71	19.98	0.58	19.97	0.65	19.98	0.72
椒盐噪声	25.34	0.80	25.34	0.80	24.85	0.88	25.24	0.74	25.22	0.88	25.24	0.89
乘积噪声	25.51	0.84	25.48	0.84	25.13	0.86	25.48	0.67	25.50	0.78	25.48	0.88
JPEG压缩(50)	34.26	1.00	34.30	1.00	33.58	0.97	34.36	0.67	34.30	0.83	34.18	0.96
JPEG压缩(60)	34.68	1.00	34.73	1.00	34.32	0.97	34.86	0.69	34.89	0.90	34.62	0.98
JPEG压缩(70)	35.30	1.00	35.10	1.00	35.07	0.98	0.74	35.42	35.25	0.96	35.26	0.99
JPEG压缩(80)	35.89	1.00	35.85	1.00	35.57	0.98	0.78	36.06	35.92	0.98	35.87	0.99

表3 抗亮度、对比度、曝光度及扭曲攻击实验结果

Tab.3 Experimental results against brightness, contrast, exposure and distortion attacks

攻击类型	文献[1]		文献[8]		文献[10]		文献[12]		文献[13]		提出的算法	
	PSNR	NC	PSNR	NC	PSNR	NC	PSNR	NC	PSNR	NC	PSNR	NC
亮度为5, 对比度为0	18.76	0.33	18.86	0.33	18.83	0.98	19.14	0.89	18.69	0.99	18.64	0.99
亮度为0, 对比度为10	17.52	0.67	17.98	0.56	17.67	0.98	17.94	0.87	17.42	0.98	17.37	0.99
亮度为5, 对比度为5	18.62	0.38	18.68	0.37	18.65	0.98	18.96	0.88	18.52	0.98	18.50	0.99
亮度为10, 对比度为10	19.39	0.41	19.46	0.39	18.42	0.98	19.67	0.88	19.33	0.98	19.32	0.99
曝光度为-1	7.08	0.47	7.19	0.49	11.23	0.98	7.52	0.88	6.96	0.98	6.90	0.99
曝光度为+1	18.38	0.53	18.39	0.54	18.06	0.94	18.42	0.85	18.41	0.94	18.08	0.98
挤压扭曲	13.90	0.53	14.00	0.50	14.38	0.64	14.09	0.61	13.99	0.65	10.38	0.65
切变扭曲	17.78	0.55	17.88	0.54	17.96	0.98	18.27	0.88	17.67	0.99	11.54	0.99

表4 抗像素化、风格化、模糊及锐化攻击实验结果

Tab.4 Experimental results against pixelated, stylized, blur and sharpening attacks

攻击类型	文献[1]		文献[8]		文献[10]		文献[12]		文献[13]		提出的算法	
	PSNR	NC	PSNR	NC	PSNR	NC	PSNR	NC	PSNR	NC	PSNR	NC
像素化: 彩块化	16.86	0.55	16.99	0.55	17.61	0.90	16.75	0.66	16.83	0.88	10.92	0.92
像素化: 马赛克	15.58	0.57	15.74	0.52	16.89	0.18	15.55	0.49	15.56	0.50	9.71	0.50
风格化: 风	18.68	0.45	18.81	0.44	18.87	0.87	19.13	0.69	18.59	0.79	12.34	0.82
风格化: 扩散	17.24	0.52	17.35	0.54	17.42	0.61	17.71	0.58	17.14	0.71	11.34	0.78
动感模糊	16.28	0.54	16.39	0.54	17.30	0.18	16.15	0.62	16.28	0.85	10.56	0.89
高斯模糊	16.99	0.53	17.15	0.53	17.83	0.92	16.88	0.67	16.89	0.86	10.83	0.89
锐化边缘	18.27	0.55	18.26	0.54	17.92	0.98	18.25	0.87	18.26	0.98	12.54	0.99
智能锐化	18.15	0.54	18.14	0.55	17.75	0.98	18.13	0.88	18.13	0.97	12.52	0.99

从表2可以看出,该算法和其他的5种算法对常规的信号处理攻击都具有较好的抵抗能力。但是,从表3、4可以看出,基于量化嵌入方法的文献[1]和文献[8]抵抗 Adobe Photoshop CS6 软件攻击的能力较弱,基于关系嵌入方法的文献[10]和文献[12—13]及提出的算法对该类攻击具有较好的鲁棒性,并且对于大部分的 Adobe Photoshop CS6 软件攻击,提出的算法具有更好的鲁棒性能。然而,对于大范围的马赛克攻击,由于图像失真较大,6种水印算法的抵抗能力都较弱。综上,与文献[1]、文献[8]、文献[10]和文献[12—13]中的5种水印算法相比,在PSNR值基本相当的前提下,该算法的性能优于其他的5种算法。

#### 4 结语

为了使数字水印技术的不可感知性和鲁棒性达到较好的折中效果,提出了一种基于关系的提升小波变换域自适应图像水印算法。该算法实现较简单,计算复杂度较低,具有如下的特点:不是直接将水印信号嵌入在原始的载体图像中,而是先对载体图像进行互不重叠的 $8 \times 8$ 提升小波变换;根据每一分块的亮度和纹理掩蔽特性,采用自适应调整提升小波变换后选定的一对系数的大小关系来嵌入预处理

的水印信号;水印嵌入及提取过程非常简单,提取时不需要原始载体图像的参与,实现水印的盲提取。大量的仿真实验结果表明,该算法具有较好的不可感知性和抵抗多种攻击的能力。与相似的数字水印算法相比,在PSNR值基本相同的前提下,该算法具有更好的鲁棒性。未来的研究工作,一方面是对该算法进行更加深入的研究,进一步考虑人眼视觉系统的掩蔽特性,提高其不可感知性和增强其抵抗噪声、扭曲等攻击的能力;另一方面是结合彩色图像自身的特点,对该算法进行改进,开展彩色图像自适应水印算法的研究。

#### 参考文献:

- [1] 艾丽华,陈青.一种新的基于奇异值分解的小波域盲水印[J].计算机应用研究,2011,28(3):1155—1157.  
AI Li-hua, CHEN Qing. Novel Blind Watermarking Based on Singular Value Decomposition and Wavelet Transform[J]. Application Research of Computer, 2011, 28(3): 1155—1157.
- [2] WANG S, ZHENG D, ZHAO J. An Image Quality Evaluation Method Based on Digital Watermarking[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video

- Technology, 2007, 17(1): 98—101.
- [3] 邱丽红, 张丽艳. 一种 DCT 域的最优均值量化盲图像水印算法[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(2): 497—499.  
 QIU Li-hong, ZHANG Li-yan. Optimal Mean Quantization Blind Image Watermarking Algorithm Based on DCT Domain[J]. Application Research of Computer, 2013, 30(2): 497—499.
- [4] 付文亭, 邓体俊, 陈海生. 小波变换系数奇异值分解数字水印防伪算法[J]. 包装工程, 2015, 36(21): 128—132.  
 FU Wen-ting, DENG Ti-jun, CHEN Hai-sheng. A Watermarking Algorithm for Security Based on Discrete Wavelet Transform and Singular Value Decomposition [J]. Packaging Engineering, 2015, 36(21): 128—132.
- [5] LAI C C. An Improved SVD-based Watermarking Scheme Using Human Visual Characteristics[J]. Optics Communications, 2011, 284(4): 938—944.
- [6] 汪祖辉, 孙刘杰, 蒋哲薇, 等. 一种抗几何攻击的小波域水印算法[J]. 包装工程, 2015, 36(21): 102—108.  
 WANG Zu-hui, SUN Liu-jie, JIANG Zhe-wei, et al. A Watermarking Algorithm Against Geometric Attack in DWT Domain[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(21): 102—108.
- [7] 王学忠, 田园锁. 一种基于关系和量化的盲水印算法[J]. 计算机应用与软件, 2011, 28(5): 252—255.  
 WANG Xue-zhong, TIAN Yuan-suo. A Blind Watermarking Algorithm Based on Relationship and Quantification[J]. Computer Application and Software, 2011, 28(5): 252—255.
- [8] 曲大鹏, 范铁生, 陆贵强, 等. 应用提升小波变换的均值量化数字水印方法[J]. 小型微型计算机系统, 2015, 36(9): 2108—2111.  
 QU Da-peng, FAN Tie-sheng, LU Gui-qiang, et al. Novel Method of Mean Quantization Digital Watermarking Based on Lifting Wavelet Transform[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2015, 36(9): 2108—2111.
- [9] 熊祥光. 基于量化和关系的图像水印算法[J]. 微电子学与计算机, 2013, 30(9): 71—74.  
 XIONG Xiang-guang. Image Watermarking Algorithm Based on Quantification and Relationship[J]. Microelectronics & Computer, 2013, 30(9): 71—74.
- [10] YESILYURT M, YALMAN Y, OZCERIT A T. A New DCT Based Watermarking Method Using Luminance Component[J]. Elektronika Ir Elektrotechnika, 2013, 19(4): 47—52.
- [11] LIN D S, SHIE S C, GUO J Y. Improving the Robustness of DCT Based Image Watermarking Against JPEG Compression[J]. Computer Standards & Interface, 2010, 32(1): 54—60.
- [12] 杨钊, 薛模根, 刘晓. 基于中心与邻域系数均值关系的盲水印算法[J]. 计算机仿真, 2009, 26(7): 146—148.  
 YANG Fan, XUE Mo-gen, LIU Xiao. A Blind Watermarking Algorithm Based on the Relationship of Center and Adjacent Coefficients[J]. Computer Simulation, 2009, 26(7): 146—148.
- [13] 郑秋梅, 杨发科, 蒋晓红. 一种基于关系的小波域水印算法[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2009, 33(2): 164—168.  
 ZHENG Qiu-mei, YANG Fa-ke, JIANG Xiao-hong. A Digital Watermarking Algorithm Based upon Relationship in Wavelet Transform Domain[J]. Journal of China University of Petroleum, 2009, 33(2): 164—168.
- [14] 于海娇, 孙刘杰, 李毓彬, 等. 基于 QR 码的 DWT-SVD 数字水印算法[J]. 包装工程, 2015, 36(23): 125—129.  
 YU Hai-jiao, SUN Liu-jie, LI Yu-bin, et al. Digital Watermark Algorithm with DWT-SVD Based on QR Code[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(23): 125—129.
- [15] 郭倩, 陈广学, 陈奇峰. 基于小波变换的数字水印技术[J]. 包装工程, 2015, 36(19): 115—119.  
 GUO Qian, CHEN Guang-xue, CHEN Qi-feng. Digital Watermarking Technology Based on Wavelet Transform[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(19): 115—119.
- [16] 于明伟. 一种基于 Contourlet-DFT 的加密全息水印技术[J]. 包装工程, 2016, 37(1): 142—146.  
 YU Ming-wei. Novel Encrypted Holographic Watermarking Algorithm Based on Contourlet-DFT[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(1): 142—146.
- [17] QIN Chan, WEN Xian-bin. A Novel Digital Watermarking Algorithm in Contourlet Domain[J]. Journal of Information and Computational Science, 2014, 11(2): 519—526.
- [18] BI Hong-bo, LI Xue-ming, ZHANG Yu-bo, et al. A novel HVS-based Watermarking Scheme in CT Domain[J]. Sensors and Transducers, 2014, 163(1): 53—59.