

基于Logistic混沌加密的NSCT-SVD抖动调制盲水印算法

马婷, 高大鹏, 王欣

(中国民用航空飞行学院, 广汉 618307)

摘要: **目的** 提出一种既安全又具高稳健性的盲水印算法。 **方法** 首先通过Logistic映射混沌置乱对图像加密, 然后对载体图像进行三层非采样Contourlet变换(NSCT), 提取低频部分进行 8×8 分块, 最后对低频带的子块进行奇异值分解(SVD), 将混沌变换的水印图像嵌入在进行抖动调制的奇异值中。 **结果** 该算法解决了奇异值分解引起的False positive问题即虚警率, 在提取水印的算法过程中没有用到原载体图像, 实现了水印的嵌入及盲检测。实验结果显示, 该算法提高了水印的防伪性, 耐常见攻击的抵抗能力也较强。 **结论** 该算法满足了数字水印技术要求的隐蔽性和稳健性, 并且可以对数字产品起到版权保护的作用。

关键词: NSCT; SVD; Logistic映射混沌置乱; 抖动调制; 盲水印

中图分类号: TS865 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)05-0156-05

Jitter Modulation Blind Watermarking Algorithm Based on Logistic Chaotic Encryption and NSCT-SVD

MA Ting, GAO Da-peng, WANG Xin

(Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, China)

ABSTRACT: A safe and highly robust blind watermarking algorithm was proposed. First, the image was encrypted through Logistic Chaotic scrambling. Second, the original image was subjected to three-dimensional NSCT. The low-frequency portion was extracted and divided into 8×8 blocks. Third, low-frequency sub-bands of the block were subjected to SVD. The chaos watermark was embedded in singular values of jitter modulation. The algorithm solved the problem of the False positive problem caused by singular value decomposition, reducing the false alarm rate. In the process of watermarking extraction, the original image was not used, and the watermark embedding and blind detection were realized. The experimental results showed that the algorithm improved the watermark security and had relatively strong resistance to common attacks. The algorithm meets the requirements of digital watermarking technology for the invisibility and robustness, and can play a role of copyright protection in the digital products.

KEY WORDS: NSCT; SVD; Logistic mapping chaos scrambling; jitter quantification; blind watermarking

数字水印算法一直是比较活跃的研究领域, 尤其是基于变换域的数字水印算法, 涌现出了很多相关及结合性的算法^[1-7], 对于数字水印算法最重要的是不可见性和鲁棒性, 如果在满足不可见性的基础上可以满足抵抗常规攻击的鲁棒性, 这个算法尚可。要同时满足这两方面要求的数字水印算法, 一直是研究者的研究重点。

由于广泛应用于数字水印算法中的空间域DWT存在方向性的不足, 2005年, Do和Cunha^[8-9]提出的非采样Contourlet变换NSCT不仅具有Contourlet的优点, 还具备了平移不变性的特性。目前将NSCT与其他算法相结合的复合算法均有所研究, 并且通过实验证明, 此类算法都在保证隐蔽性的基础上, 保证了算法的稳健性, 尤其在攻击测试中都表现出了很好的鲁棒

收稿日期: 2015-07-17

基金项目: 国家自然科学基金(60879022)

作者简介: 马婷(1985—), 女, 回族, 山东济南人, 硕士, 中国民用航空飞行学院讲师, 主要研究方向为图像处理、计算机应用技术。

性。奇异值分解(SVD)是一种数字矩阵变换,奇异值具有较好的稳定性和抗几何失真能力。目前,基于SVD的数字水印算法^[10]已相继出现,文献[11—12]均是NSCT与SVD结合的数字水印算法,算法在提取水印的过程中,根据SVD算法的特点,都用到了与水印图像相关的正交矩阵,所以此类算法存在高虚警率的问题。基于NSCT的盲水印算法一直是研究者的研究重点,因为盲水印算法提取水印时很少或几乎用不到原始载体图像,可以减少信息的不安全因素。抖动量化调制是嵌入水印与提取水印的一项典型技术,这项技术可以通过量化步长的抖动调制实现盲水印检测,嵌入大量的信息量。文献[13]提出了关于DCT域的盲水印算法,水印嵌入过程中将二值水印图像进行量化。文献[14]提出了Contourlet域的盲水印算法,为了水印的安全,对水印图像进行了Arnold变换和Logistic混沌双重加密。文献[15]提出了双密钥的盲水印算法,对原始图像进行SVD和DWT多次分块后,通过MCMC采样将水印嵌入。

文中提出关于NSCT-SVD变换的盲水印算法,算法与抖动调制相结合,并且为了算法的防伪安全,先对水印图像进行Logistic混沌加密,并进行Matlab仿真实验。

1 基本理论

1.1 Logistic混沌置乱变换

当 $0 < v \leq 4$ 时,Logistic混沌映射置乱变换的数学公式^[16—17]:

$$y_{k+1} = v y_k (1 - y_k) \quad (1)$$

在 $(0, 1)$ 分布诸多混沌置乱点 y_k ,当 $3.569\ 945 \cdots < v \leq 4$ 时,处于混沌状态,由初始条件 y_0 会产生不同的序列,初始条件为:

$$y_0 = \left(\sum_{i=1}^{32} \sum_{j=0}^8 k_{ij} \times 2^{j-1} \right) / 2^{256} \quad (2)$$

其中 $k_i (i=1, 2, \cdots, 32)$ 表示第 i 个位置的二进制位。混沌系统有一定的初始值敏感依赖性,它可以产生一个更大数量的非相关、任意序列长度的值。由此,此序列不仅简单,可以实现良好的安全性,而且方便生成以及复制。

1.2 奇异值分解(SVD)

数字图像可以看作是一个矩阵^[18—19],如果用 $\mathbf{A}$ 来表示, $\mathbf{A}$ 属于 $m \times n$ 型矩阵, $\mathbf{U}$ 和 $\mathbf{V}$ 是两正交矩阵, $\mathbf{S}$ 是

半正定对角矩阵,其中的元素称为奇异值,使得:

$$\mathbf{A} = \mathbf{U}^T \mathbf{S} \mathbf{V} = \begin{bmatrix} \mathbf{S} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中 $\mathbf{S} = \text{diag}(S_1, S_2, \cdots, S_t)$, $S_1 \geq S_2 \geq S_3 \geq \cdots \geq S_t \geq 0$, t 为 $\mathbf{S}$ 的秩。

奇异值分解的特性主要用于奇异值存在转置、缩放和旋转不变等几何失真方面的不变性^[20],奇异值的稳定性决定奇异值面对微小变换时不敏感,奇异值包含了图像的内部特征。

1.3 非采样Contourlet变换(NSCT)

NSCT具有多尺度性、较好的各个方向异性和平移不变性。NSCT主要由非采样塔式滤波器(NSPFB)和非采样方向滤波器(NSDFB)两部分组成,NSPFB先对图像进行多尺度分析,然后除去低频部分;NSDFB对高频部分进行方向分析,使得NSCT具有多尺度性和多方向异性。

与Contourlet变换具有不同的非抽样塔式滤波器是一个双通道滤波器组,它不下采样于低频子带,而是将对非下采样双通道滤波器进行插值和低频子带进行卷积,从而对图像进行分解。同样,非采样方向滤波器只进行上采样,保证了平移不变性。NSCT是高冗余的Contourlet变换,因此可嵌入的水印信息更多,且避免了丢失方向子带的位置和各子带信息的频谱重叠。NSCT分解框架示意图1。

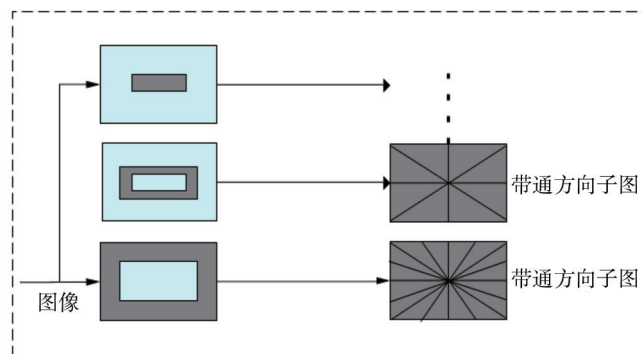


图1 NSCT

Fig.1 NSCT

1.4 抖动量化调制

量化调制是水印算法的经典技术,可实现盲水印与嵌入大量信息,所以应用较广泛。抖动量化调制^[21]是通过与水印对应的量化器对进行过抖动处理的原始图像进行量化,完成水印的嵌入过程。由文献^[22]可知基本的SVD水印算法^[23]通常容易产生虚警率,因此,

在文中算法中加入抖动量化调制技术,可以避免此问题的存在。

量化步长的选取影响嵌入的深度及速度,要通过反复实验才能决定,文中选用步长 $T=(\text{奇异值的最大值}-\text{奇异值的最小值})/\text{量化单元个数}$ 。量化步长的选取影响算法的隐蔽性和稳健性,若使量化步长 T 增加,则将会增加量化单元数以及增大量化间隔,水印的稳健性就会得到改善,但隐蔽性会降低,同理,量化步长减小,水印的隐蔽性会提高而稳健性就会降低。

2 算法的嵌入及提取过程

2.1 水印嵌入过程

水印嵌入过程见图2。由 Logistic 混沌映射置乱变换水印图像,得到一个二进制混沌序列,对原水印图像进行位异或处理,得到最终的混沌置乱后的水印。对原始载体图像 I 进行3层 NSCT,得到的低频子带执行 8×8 不重叠分块。对子块进行SVD, $[U, S, V]=SVD(A)$,将分解后的对角阵的第1个奇异值构成一个范围 λ , $\lambda=[\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l]$ 。选择(最大的奇异值 $\lambda_{\max}$ -最小值的奇异值 $\lambda_{\min}$)/量化单元数,作为量化步长。对区间 λ 及混沌水印进行抖动量化调制,以产生一个新的奇异值矩阵 S' 代替原来的 S ,并与正交矩阵 U 和 V 进行重构,将得到低频子带。对低频子带进行逆 NSCT,获得重构图像-嵌入水印后的图像。

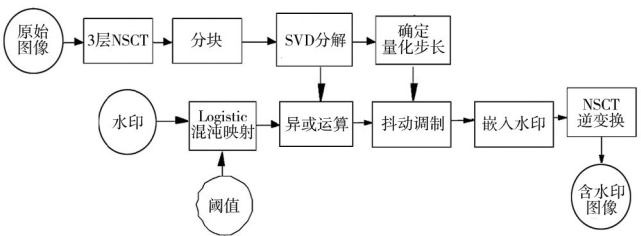


图2 水印的嵌入过程
Fig.2 Watermark embedding process

2.2 水印提取过程

对嵌入水印后的图像嵌入相同的算法即进行3层 NSCT,将所得到的低频子带划分为 8×8 个非重叠分块。对每个子块进行SVD分解, $[U_1, S_1, V_1]=SVD(A')$ 。将对角矩阵的第1个奇异值组成一个区间 λ ,通过与量化单元最小的奇异值加上 $(m-1)$ 倍的步长,相比较得到水印信息,最后将其与混沌序列做按位异或运算得到原始水印图像。

3 仿真实验

文中采用峰值信噪比(PSNR)来评判水印的不可见性见式(4),用相似度NC来评判算法的鲁棒性见式(5)。实验选用像素为 512×512 的Lena图像做为原始图像,像素为 64×64 的“飞行学院”图像作为水印图像,嵌入水印前的图像及嵌入水印后的图像见图3,原始水印图像及提取的水印图像见图4。

$$PSNR = \frac{10\lg(MN\max(\max I(i,j) \cdot I'(i,j)))}{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M (I(i,j) - I'(i,j))^2} \tag{4}$$

式中: $I(i,j)$ 为嵌入水印前图像; $I'(i,j)$ 为嵌入水印后图像; $W(i,j)$ 为原水印图像; $W'(i,j)$ 为提取的水印图像。PSNR值代表算法的隐蔽性,其数值越大,算法的隐蔽性越好,两者成正比。NC值代表算法的稳健性,它介于0到1之间,其数值越靠近1,说明算法的稳健性越好。

$$NC = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N W(i,j) W'(i,j)}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N W^2(i,j)} \tag{5}$$



图3 嵌入水印前和嵌入水印后的图像
Fig.3 Images before and after embedding of watermark



图4 水印图像和提取的水印图像
Fig.4 Original watermark and extracted watermark

经实验所得,原Lena图像与未受攻击的嵌入水印图像的PSNR值为33.2155,PSNR值>20 dB说明文中

算法可满足人们的视觉需求,具有较好的隐蔽性,见图3。从图4可看到,所提取的水印图像几乎没有变化,有较高的质量,NC值接近于1。为了更好地评估文中算法的稳健性,给出图像进行过滤攻击、压缩攻击、噪声攻击、剪切攻击、旋转攻击后的攻击测试,见图5。评估后的局部数据见表1。



图5 受攻击后的图像
Fig.5 Images after different attacks

表1 文中算法鲁棒性测试
Tab.1 Robustness test of the proposed algorithm

各种攻击	NC	检测
椒盐噪声 0.01	0.9887	OK
高斯噪声 0.005	0.9901	OK
剪切 1/8	0.9986	OK
剪切 1/4	0.9802	OK
JPEG 压缩 30%	0.9939	OK
JPEG 压缩 80%	0.9998	OK
旋转 10°	0.8059	OK
均值滤波	0.9794	OK
高斯滤波	0.9994	OK

由图5可知,含水印图像经过过滤攻击、压缩攻

击、噪音攻击、旋转攻击以及剪切攻击后,仍然看不到图像中含有水印,保持了水印的隐蔽性。表1表明,文中算法在抵抗常见的过滤攻击、压缩攻击、噪声攻击以及剪切攻击时,它们都表现出了强劲的鲁棒性,提取出的水印图像更完整,尤其是面对压缩、裁剪攻击,NC值均达到0.9998和0.9986。对小度数的旋转攻击,文中算法可以抵抗,NC值达到0.8059,但是较大度数的攻击,提取的水印图像有些模糊,只能勉强看清图像的内容。

文中算法与文献[11]中NSCT-SVD算法的攻击测试比较结果见表2,可知文中算法在椒盐噪声、高斯噪声以及剪切攻击中都表现出了比文献[11]中NSCT-SVD算法较好的抵抗能力,而在抵抗旋转攻击方面NSCT-SVD算法仍具有较高的稳健性,所以在避免高虚警率的前提下,如何提高算法抵抗旋转攻击的稳健性还需进一步研究。

表2 文中算法与NSCT-SVD算法攻击测试比较
Tab.2 Comparison of attack test between the proposed algorithm and NSCT-SVD algorithm

各种攻击	文中算法	文献[11]中NSCT-SVD算法
椒盐噪声 0.01	0.9887	0.9454
高斯噪声 0.005	0.9901	0.8756
剪切 1/8	0.9986	0.9542
剪切 1/4	0.9802	0.9298
JPEG 压缩 30%	0.9939	0.9936
JPEG 压缩 80%	0.9998	1.0000
旋转 10°	0.8059	0.9045
均值滤波	0.9794	0.9688
高斯滤波	0.9994	0.9994

4 结语

研究了Logistic混沌置乱变换、NSCT的特点、抖动量化调制和盲数字水印的多项技术,提出了一种基于Logistic混沌置乱变换的NSCT-SVD抖动量化盲数字水印算法。该算法在保证含水印图像隐蔽性的基础上,采用Logistic混沌置乱方法确保了水印图像的防伪性,使用抖动量化技术以避免SVD存在的虚警率问题。仿真实验可知,该算法的PSNR值为33.2155>20 dB,NC值几乎接近1,并且算法在面对切割、噪声、过滤以及压缩攻击时均表现出很强的鲁棒性。实验结果验证了算法的可行性和有效性,但该算法抵抗更大程度旋转攻击的能力还有待提高。

参考文献:

- [1] 张雷洪,唐波,李碧程,等. 基于DWT-SVD的强鲁棒全息水印算法研究[J]. 包装工程,2013,34(21):105—109.
ZHANG Lei-hong, TANG Bo, LI Bi-cheng, et al. Pik and Other the Research of Strong Robustness Holographic Watermarking Algorithm Based on DWT-SVD[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(21): 105—109.
- [2] 褚静,徐安成,张美凤. DWT和SVD相融合的彩色图像水印算法[J]. 电视技术,2013,37(17):29—32.
CHU Jing, XU An-cheng, ZHANG Mei-feng. The Color Image Watermarking Algorithm Based on DWT and SVD[J]. TV Technology, 2013, 37(17): 29—32.
- [3] 吴玲玲,张建伟,王克松. 基于DWT和DCT域的盲水印算法[J]. 微计算机信息,2009,25(3):53—54.
WU Ling-ling, ZHANG Jian-wei, WANG Ke-song. Blind Watermarking Algorithm Based on DWT and DCT Domain[J]. Microcomputer Information, 2009, 25(3): 53—54.
- [4] 李海燕. 基于DCT和DWT域的数字水印算法[J]. 合肥学院学报,2009,19(3):37—39.
LI Hai-yan. Digital Watermarking Algorithm Based on DCT and DWT Domain[J]. Journal Hefei University, 2009, 19(3): 37—39.
- [5] 雍士华,马小虎. 一种基于DWT和SVD的双重水印算法[J]. 南京师范大学学报(工程技术版),2008,8(4):103—107.
YONG Shi-hua, MA Xiao-hu. A Dual Watermarking Algorithm Based on DWT and SVD[J]. Journal of Nanjing Normal University (Engineering and Technology), 2008, 8(4): 103—107.
- [6] 彭宏,王珣,王卫星,等. 基于音频特征的多小波域水印算法[J]. 计算机研究与发展,2010,47(2):216—222.
PENG Hong, WANG Xun, WANG Wei-xing, et al. The Multi-wavelet Domain Watermarking Algorithm Based on the Audio Characteristics[J]. Computer Research and Development, 2010, 47(2): 216—222.
- [7] GANIC E, ESKICIOGLU A M. Robustness DWT-SVD Domain Image Watermarking: Embedding Data in All Frequencies[C]// ACM Multimedia and Security Workshop.Germany, 2004:20—21.
- [8] ZHOU Jian-ping, ARTHUR L C, DO M N. Nonsubsampled Contourlet Transform: Construction and Application in Enhancement[C]// Proc of IEEE International Conference on Image Processing.Genoa, 2005:469—472.
- [9] ARTHUR L C, ZHOU Jian-ping, DO M N. The Nonsampled Contourlet Transform: Theory, Design, and Applications [J]. IEEE Trans Image Processing, 2006, 15(10): 3089—3101.
- [10] 李晨璐,孙刘杰. 一种新的彩色图像变换域全息水印算法[J]. 包装工程,2013,34(9):84—88.
LI Chen-lu, SUN Liu-jie. A New Holographic Watermarking Algorithm of Color Image Based on Transform Domain[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(9): 84—88.
- [11] 马婷,黄健华,赵勇,等. 基于非采样Contourlet变换和SVD的数字水印算法研究[J]. 云南民族大学学报(自然科学版),2011,20(4):305—309.
MA Ting, HUANG Jian-hua, ZHAO Yong, et al. Research on Digital Watermarking Algorithm Based on Non Sampling Contourlet Transform and SVD[J]. Journal of Yunnan University of Nationalities (Natural Science Edition), 2011, 20(4): 305—309.
- [12] 熊顺清,周卫红. 一种基于非采样Contourlet变换的图像水印算法[J]. 广西师范大学学报(自然科学版),2011,29(2):195—199.
XIONG Shun-qing, ZHOU Wei-hong. An Image Watermarking Algorithm Based on Non Sampling Contourlet Transform[J]. Journal of Guangxi Normal University (Natural Science Edition), 2011, 29(2): 195—199.
- [13] 顾振宇,袁野,张国锋. 基于掩蔽效应和抖动调制的盲水印方案[J]. 包装工程,2013,34(15):114—119.
GU Zhen-yu, YUAN Ye, ZHANG Guo-feng. Blind Watermarking Scheme Based on Masking Effect and Jitter Modulation[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(15): 114—119.
- [14] 陈忻,李宏昌. 一种基于Contourlet域的双重加密盲水印算法[J]. 信息与电脑,2013(8):129—130.
CHEN Xin, LI Hong-chang. A Double Encryption Blind Watermark Algorithm Based on Contourlet Domain[J]. Information with the Computer, 2013(8): 129—130.
- [15] 萧嘉慰,张力,罗静云. 基于马尔可夫链蒙特卡罗采样的双密钥盲水印算法[J]. 计算机应用,2014,34(2):469—472.
XIAO Jia-wei, ZHANG Li, LUO Jing-yun. Dual Key Blind Watermarking Algorithm Based on Markov Chain Monte Carlo Sampling[J]. Journal of Computer Applications, 2014, 34(2): 469—472.
- [16] 张永红,张博. 基于混沌系统的图像加密算法研究[J]. 计算机应用,2014,32(6):1770—1773.
ZHANG Yong-hong, ZHANG Bo. The Research of Image Encryption Algorithm Based on Chaotic System[J]. Computer Applications, 2014, 32(6): 1770—1773.
- [17] 陈士华,陆君安. 混沌动力学初步[M]. 武汉:武汉水利水电大学出版社,1998.
CHEN Shi-hua, LU Jun-an. Chaotic Dynamics Preliminary [M]. Wuhan: Water Resources and Hydropower Press, 1998.
- [18] 李晨璐,孙刘杰,李孟涛. 强鲁棒性全息水印算法[J]. 包装工程,2012,33(13):104—107.
LI Chen-lu, SUN Liu-jie, LI Meng-tao. Robustness Holographic Watermarking Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(13): 104—107.
- [19] 王晓红,许诗旸. 基于W-SVD的强鲁棒性数字图像水印算

(下转第166页)

- gineering, 2015, 36(3): 113—118.
- [6] 邵宇, 孙富春, 李洪波. 基于视觉特性的无参考型遥感图像质量评价方法[J]. 清华大学学报, 2013(4): 550—555.
SHAO Yu, SUN Fu-chun, LI Hong-bo. No-reference Remote Sensing Image Quality Assessment Method Using Visual Properties[J]. Journal of Tsinghua University, 2013(4): 550—555.
- [7] 章婷, 王晓红. 基于视觉底层特征的图像增强方法[J]. 包装工程, 2014, 35(23): 104—109.
ZHANG Ting, WANG Xiao-hong. Image Enhancement Based on Low-level Visual Features in the Visual Region of Interest [J]. Packaging Engineering, 2014, 35(23): 104—109.
- [8] 姚军财. 一种基于 YCrCb 颜色空间和视觉特性的彩色图像水印技术[J]. 包装工程, 2012, 33(9): 111—116.
YAO Jun-cai. Color Image Watermark Technology Based on YCrCb Color Space and Human Vision Characteristics[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(9): 111—116.
- [9] SHEIKH H R, WANG Z, CORMACK L, et al. LIVE in the Wild Image Quality Challenge Database[EB/OL]. (2013-11-22) [2015-09-02]. <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>, 2013.
- [10] 马丰原. 基于视觉感兴趣区域的图像质量评价算法研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2013.
- MA Feng-yuan. Research on Image Quality Assessment Based on Visual Regions of Interest[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2013.
- [11] ITTI L, KOCH C. Feature Combination Strategies for Saliency Based Visual Attention Systems[J]. Journal of Electronic Imaging, 2001, 10(1): 161.
- [12] SHEIKH H R, SABIR M F, BOVIK A C. A Statistical Evaluation of Recent Full Reference Image Quality Assessment Algorithms[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(11): 3440—3451.
- [13] WANG Z, BOVIK A C, SHEIKH H R, et al. Image Quality Assessment: from Error Visibility to Structural Similarity[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(4): 600—612.
- [14] AVCIBAS I, SANKUR B, SAYOOD K. Statistical Evaluation of Image Quality Measures[J]. Journal of Electronic Imaging, 2002, 11(2): 206—213.
- [15] 张雷洪, 杜晓萌, 樊丽萍. 基于主客观视觉感知的图像增强技术[J]. 包装工程, 2015, 36(9): 114—118.
ZHANG Lei-hong, DU Xiao-meng, FAN Li-ping. Image Enhancement Technique Based on Subjective and Objective Visual Perception[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(9): 114—118.

(上接第 160 页)

- 法[J]. 包装工程, 2012, 33(21): 113—119.
WANG Xiao-hong, XU Shi-yang. Digital Image Watermarking Algorithm Robustness with Strong Robustness Based on W-SVD[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(21): 113—119.
- [20] 张立民, 钟兆根, 彭耿. 基于奇异值分解的多卫星信号盲检测[J]. 电讯技术, 2013(1): 33—38.
ZHANG Li-min, ZHONG Zhao-gen, PENG Geng. Blind Detection of Multi-satellite Signal Based on Singular Value Decomposition[J]. Telecommunication Engineering, 2013(1): 33—38.
- [21] 景丽, 李淑红. 基于空域量化索引调制水印参数定量估算[J]. 计算机科学, 2013, 40(6): 128—131.
JING Li, LI Shu-hong. Quantitative Estimation of the Watermark Parameters Based on the Spatial Domain Quantization Index Modulation[J]. Computer Science, 2013, 40(6): 128—131.
- [22] 叶建兵. 一类SVD水印算法的问题分析及Contourlet域的水印嵌入与检测算法[D]. 南京: 南京理工大学, 2007.
YE Jian-bing. A Class of Problem Analysis of SVD Watermarking Algorithm and Watermark Embedding and Detection Algorithm Based on Contourlet Domain[D]. Nanjing: Nanjing Technology University, 2007.
- [23] 李蓓, 金聪. 基于混沌序列和奇异值分解的鲁棒数字水印算法[J]. 武汉大学学报(理学版), 2007, 53(3): 305—308.
LI Pei, JIN Cong. Robust Digital Watermarking Algorithm Based on Chaotic Sequence and Singular Value Decomposition [J]. Journal of Wuhan University (Natural Science Edition), 2007, 53(3): 305—308.