

基于 W-SVD 的强鲁棒性复制图像水印算法

王晓红, 许诗旻

(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: 在小波变换理论和奇异值分解方法的基础上, 提出了一种新的基于两者的 W-SVD 数字水印算法, 能抵抗多种攻击, 具有极强的鲁棒性。对原始图像先进行二级小波变换, 再对低频子带进行奇异值分解, 对原始水印则直接获取其奇异值, 最后用加权方法嵌入水印, 加权系数由大量 MATLAB 仿真实验获得。实验结果表明, 对任意角度的旋转攻击、高斯椒盐斑纹和泊松噪声攻击、各种滤波攻击和 JPEG 压缩攻击具有极强的鲁棒性。

关键词: 数字水印; 小波变换; 奇异值分解; 强鲁棒性

中图分类号: TS853+.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)21-0113-07

Digital Image Watermark Algorithm with Strong Robustness Based on W-SVD

WANG Xiao-hong, XU Shi-yang

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: A novel digital watermarking algorithm based on wavelet transform and singular value decomposition method was put forward, which is resistant to a variety of attacks and has a strong robustness. At first, two levels wavelet transformation was carried out on original image. Then, singular value decomposition was carried out on low frequency sub-band to get singular value from original watermark. Finally, the watermark was embed with weight method, in which the weighting coefficients were obtained from large amounts of MATLAB simulation experiments. The experimental results showed that the algorithm has strong robustness against any angle rotation attacks, salt & pepper, speckle, Gaussian and Poisson noise attacks, various filtering attacks, and JPEG compression attacks.

Key words: digital watermark; wavelet transformation; singular value decomposition; robustness

随着电子通信技术的日新月异, 互联网中数字信息的传播与日俱增, 盗版和侵权问题不容小觑。如何有效地防止数字产品被侵权、盗版和随意篡改, 成为世界各国相关学者进行研究的热点内容之一^[1]。数字水印作为一种信息隐藏技术, 已成为目前主流的数字作品版权保护手段。该技术在不影响原载体使用价值的条件下, 将一些标识信息嵌入数字载体中, 以起到版权保护的作用。

目前数字水印技术主流在变换域嵌入水印信息, 常用的变换域方法有离散余弦变换 DCT、离散傅里叶变换 DFT、离散小波变换 DWT、奇异值分解 SVD、Radon 变换、Hough 变换、傅里叶全息水印^[2-3]等。变换

域方法嵌入水印的鲁棒性高, 隐蔽性好, 可提高水印的安全性^[4]。其中, 小波变换由于其良好的能量压缩特性、多分辨率分解特性、兼容 JPEG 与 MPEG4 媒体压缩标准, 对抗噪声和压缩攻击具有良好的鲁棒性, 但对几何攻击无能为力^[5-6]。因为几何攻击会对小波系数的分布产生极大的影响, 从而破坏水印的同步性。为了弥补这一缺点, 引入奇异值分解。因为其对几何攻击具有良好的鲁棒性, 但缺点是抗椒盐、高斯、滤波等攻击能力较弱。

文中结合二者的优势, 提出一种基于 W-SVD 的数字图像水印算法。实验结果表明, 该算法对于几何攻击尤其是旋转攻击具有很强的鲁棒性, 对于 JPEG

收稿日期: 2012-06-06

基金项目: 国家新闻出版总署“数字印刷工程研究中心”创新开放基金

作者简介: 王晓红 (1971-), 女, 陕西人, 工学博士, 上海理工大学教授, 主要研究方向为色彩理论及其应用、印刷质量检测与评价、图像处理与模式识别在印刷包装中的应用、特种印刷及印刷工艺、数字印刷及应用。

压缩、椒盐、高斯、滤波等信号攻击也有极强的鲁棒性。

1 图像 W-SVD 分解

1.1 图像小波变换

对二维信号的图像信息而言,小波变换即对图像进行多分辨率分解,将图像由空域变换到频率域。图像经过一级小波变换后会被分解为 4 个独立频率子带:1 个低频子带 LL_1 与 3 个高频子带 LH_1 , HL_1 和 HH_1 。每个子图像的大小为原图的 $1/4$,见图 2。经过小波分解把一个图像分成了若干级,图 3 为二级小波变换。

对于同一级图像,低频图像子带 LL 最重要,其次是中频子带 HL 和 LH ,高频图像子带 HH 的重要性远不如低频和中频子带。因为低频子带 LL 最为接近原图,而高频子带 LH , HL 和 HH 分别体现了原图像垂直、水平和对角方向的边缘、轮廓和纹理信息。分辨率越低,其中有用信息的比例就越高。从多分辨率分析,对于各个高频子带,由于它们是图像同一个边缘、轮廓和纹理信息在不同方向、不同尺度和不同分辨率下由粗到细的描述,它们之间存在着一定的关系,即小波系数的幅值随着尺度的减小而衰减。若再对低频子带 LL_1 做一次小波变换,则 LL_1 又可以被分解为 4 个新的子带 LL_2 , LH_2 , HL_2 和 HH_2 。图 1 为一幅 512×512 像素的原始灰度图像,图 2 为该图一级小波变换后的 4 个子带,图 3 为二级小波变换后的示意图。



图 1 原始图像

Fig. 1 Original image

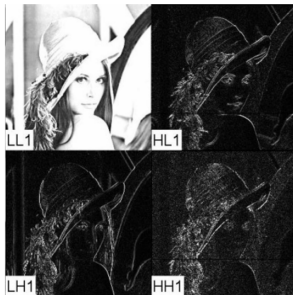


图 2 一级小波变换

Fig. 2 L1 wavelet transform

图像经小波变换之后,就可以选择所需要的频率子带,对其子图像的系数进行处理。从图 2、图 3 可以看到,图像的大部分能量都集中在低频部分,即 LL 子带。低频子带包含了原图像逼近信息,不易受到攻

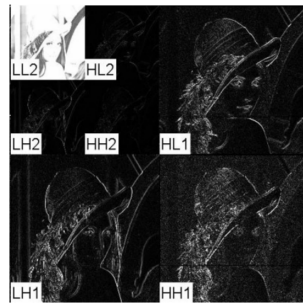


图 3 二级小波变换

Fig. 3 L2 wavelet transform

击;高频子带主要是图像的边缘、纹理信息,易在受到攻击后发生变化或丢失^[3]。因此,在低频子带嵌入水印信息可以提高水印的鲁棒性。

1.2 图像奇异值分解

奇异值分解是线性代数中一种重要的矩阵分解方法,应用于信号处理、统计学等领域。从数据存储和线性代数的角度来看,一幅数字图像可以看作一个由许多非负标量组成的数字矩阵。假设图像 X 是一个 m 行 n 列的矩阵满足 $X \in R^{m \times n}$,则一定存在一个分界使得 X 满足下式:

$$X = USV^T \quad (1)$$

式中, $U \in R^{m \times m}$, $S \in R^{m \times n}$, $V \in R^{n \times n}$ 。矩阵形式如下:

$$U = \begin{bmatrix} U_{1,1} & \cdots & U_{1,m} \\ \vdots & & \vdots \\ U_{m,1} & \cdots & U_{m,m} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$S = \begin{bmatrix} S_{1,1} & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & S_{m,n} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$V = \begin{bmatrix} V_{1,1} & \cdots & V_{1,n} \\ \vdots & & \vdots \\ V_{n,1} & \cdots & V_{n,n} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中, U 为 m 阶酉矩阵; V^T 是 n 阶酉矩阵 V 的共轭转置矩阵; S 为半正定 m 行 n 列对角矩阵,其非对角线元素皆为 0,对角线元素满足:

$$S_{1,1} \geq S_{2,2} \geq \cdots \geq S_r \geq S_{r+1} = \cdots = S_m = 0 \quad (5)$$

式中, r 为 X 的秩,它等于非负奇异值的个数。该分解即为图像 X 的奇异值分解, S 对角线上的元素 $S_{i,i}$ 为 X 的奇异值,也是 XX^T 特征值的平方根。因为:

$$XX^T = USV^T VS^T U^T = USS^T U^T \quad (6)$$

$$X^T X = VS^T U^T USV^T = VS^T SV^T \quad (7)$$

所以 U 的列向量是 XX^T 的特征向量, V 的列向量是 $X^T X$ 的特征向量, 且它们所对应的特征值都是 X 的奇异值的平方。

若将 U 和 V 矩阵写成以下形式:

$$\begin{cases} U = [U_{1,1}, U_{2,2}, \dots, U_{m,m}] \\ V = [V_{1,1}, V_{2,2}, \dots, V_{n,n}] \end{cases} \quad (8)$$

式中, $U_{i,i}$ 和 $V_{i,i}$ 分别是组成 U 和 V 的列向量。式(1)还可以表示为 r 个秩为 1 的特征图 $U_{i,i} V_{i,i}^T$ 以各自 $S_{i,i}$ 奇异值加权的总和, 即向量外积表达式:

$$X = \sum_{i=1}^r S_{i,i} U_{i,i} V_{i,i}^T \quad (9)$$

从图像处理的角度而言, 奇异值分解十分稳定。对于一些细微的干扰, 图像的奇异值几乎不变, 因为图像的奇异值主要体现的是图像内部的能量特性, 而非视觉特性。由于奇异值分解这些优良的特性, 使其对水印嵌入有极佳的隐蔽性, 对几何失真有极强的鲁棒性^[5]。

2 数字水印的嵌入提取

2.1 数字水印的嵌入

图像经小波变换后, 大部分能量都集中在低频部分, 即 LL 子带。低频子带为原图像的逼近信息, 不易受攻击。因此, 在低频子带嵌入水印信息可以提高水印的鲁棒性。考虑到小波的多分辨率性, 分解次数越高后, 包含能量越小, 不易嵌入大量水印。而另一方面, 奇异值分解后得到的图像奇异值, 也集中了图像本身的主要能量。所以小波分解次数不易过高, 过高反而会损失奇异值分解后的能量, 影响水印的嵌入和提取。为保持图像主要的能量, 又可以嵌入较多的水印信息, 对图像作二级离散小波变换后再对低频子带做奇异值矩阵分解, 最后嵌入水印信息。具体嵌入步骤如下。

1) 对原始灰度图像 X 进行二级小波变换, 得到 LL₂ 低频矩阵 C_2 。根据小波变换理论, 二级小波变换矩阵的大小为原图大小的 1/16 (见图 3)。

2) 对 C_2 低频矩阵进行 SVD 分解, 得到其奇异值矩阵 H, S, V 。其中, S 为 LL₂ 子带的奇异值。

3) 对需要嵌入的水印图做 SVD 分解, 得到其奇异值分解矩阵 U_w, S_w, V_w 。其中, U_w 为原始水印图像的奇异值矩阵。

4) 将两个奇异值对角矩阵加权, 嵌入水印。

$$S_c = S + k \times S_w \quad (10)$$

5) 对 S_c 作 SVD 还原, 得到含水印的 C'_2 矩阵。

$$C'_2 = U \times S_c \times V^T \quad (11)$$

6) 将含水印的 C'_2 矩阵和作二级小波反变换重构矩阵后, 得到嵌入水印后图像 Y 。

2.2 数字水印的提取

1) 对检测图作二级小波变换, 得到 LL₂ 低频矩阵 C_{w2} 。

2) 对 C_{w2} 矩阵作 SVD 分解, 得到其奇异值。

3) 通过原图奇异值对角矩阵和加权系数 k 提取水印图像的奇异值对角矩阵 C'_w 。

4) 对 C'_w 作 SVD 反变换, 得到提取出的水印图像。

3 实验结果分析

实验所有结果均基于微软 WINDOWS 7 64 位系统, MATLAB 2011B 64 位版本。实验选用大小为 512 × 512 × 8bit 的 256 级灰度 Lena 作为原始图像, 128 × 128 × 8bit 的灰度文字图像作为有意义水印图像, 对该算法的验证进行了大量的仿真实验。水印算法的评价方法采用峰值信噪比 PSNR 和相关系数值 NC。

$$PSNR(X, X') = 10 \lg \left[\frac{MN \max_{m,n} V(m,n) X^2(i,j)}{\sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q [X'(i,j) - X(i,j)]^2} \right] \quad (12)$$

式中: X 为嵌入水印后的图像; X' 为受攻击后图像, 单位为 dB。PSNR 值越小, 失真越大, 说明水印攻击后受损较大。

$$NC(w, w') =$$

$$\frac{\sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q w(i,j) - w'(i,j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q w^2(i,j)} \sqrt{\sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q w'^2(i,j)}} \quad (13)$$

式中: w 为原始水印; w' 为提取水印, 相关系数值 NC 的范围在 0 和 1 之间。NC 越接近 1, 代表水印还原度越高, 鲁棒性越好。

图 4 为原始图像和嵌入水印后图像, 图 5 为原始水印和提取后水印图像。在不受攻击的情况下, 提取水印后图像与原水印图像的相关系数值 $NC = 1.000$, 即水印可以被完整提取。

3.1 JPEG 压缩攻击

JPEG 压缩是互联网传输中最常见的一种图像压



图4 原始图像/嵌入水印图像
Fig. 4 Original/embedded image



图5 原始水印/提取水印
Fig. 5 Original/extracted watermark

缩方法。实验采用JPG和JP2两种格式对已嵌入水印图像压缩保存后,再读入程序检测水印。保存为JPEG文件格式时使用不同的质量因子参数Quality,范围从100到10递减,步长为10;保存为JPEG2000文件格式时,递增压缩率参数Compression Ratio范围从10%到100%,步长为10%。实验结果见表1,NC值高,抗压缩攻击能力强。

表1 JPEG压缩攻击测试结果
Tab.1 Test result of JPEG compression attack

质量	NC	PSNR	压缩率/%	NC	PSNR
100	1.000	73.02	10	0.994	62.01
90	1.000	71.26	20	0.994	64.34
80	0.998	74.10	30	0.993	66.42
70	0.998	78.43	40	0.991	65.56
60	0.998	72.03	50	0.986	63.90
50	0.996	70.14	60	0.987	59.73
40	0.998	76.53	70	0.981	58.56
30	0.997	81.60	80	0.973	58.65
20	0.996	68.50	90	0.968	58.97
10	0.998	67.31	100	0.964	61.53

3.2 旋转攻击

旋转攻击是几何攻击中的一种,普通的频域方法嵌水印抗旋转效果微乎其微,目前很多算法都对抗旋转无能为力,不具有鲁棒性。实验对嵌入水印后图像先进行不同角度的旋转,之后将图像做中心裁切,使用图像变回原图像大小,再对图像进行水印提取。旋转角度为0°到1°时,递增量为0.1°;旋转角度为1°到10°时,递增量为1°;旋转角度为10°到45°时,递增量



图6 JPEG压缩攻击测试
Fig.6 JPEG compression attack test

为5°;超过45°后,递增量为45°。部分实验数据和截图见表2。

表2 旋转攻击测试结果
Tab.2 Test result of rotation attack

角度/(°)	NC	PSNR	角度/(°)	NC	PSNR
0.1	1.000	295.3	10	0.902	17.51
0.2	0.996	48.31	20	0.879	14.01
0.3	0.994	45.52	30	0.843	12.07
0.4	0.994	42.77	40	0.800	11.71
0.5	0.993	40.68	45	0.805	11.84
1	0.995	35.09	50	0.811	11.93
2	0.990	29.49	60	0.850	12.29
3	0.980	26.24	90	1.000	301.7
4	0.970	23.97	180	1.000	293.5
5	0.961	22.29	270	1.000	291.8

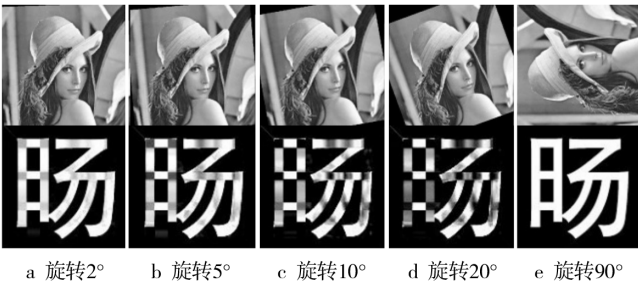


图7 旋转攻击测试
Fig.7 Rotation attack test

由实验数据得知,当图像旋转较小角度时,水印提取几乎不受到影响,NC值保持在0.99以上。当嵌入水印旋转45°时,水印提取效果最差,但NC值仍然高于0.8(见表2),且肉眼能较好地识别。当图像受到90°倍数的旋转攻击时,提取水印图像与原水印图像一致,因为采用了奇异值嵌入水印方法。该算法抗旋转攻击能力极强。

3.3 滤波攻击

滤波攻击有好几种攻击手段,实验调用 MATLAB 中 `fspecial` 函数所包含的所有对二维图像的滤波攻击进行实验,所有参数均采用默认值。表 3 中, σ 为滤波器的标准值,单位为像素;运动模糊两个参数表示图像在逆时针方向以 θ 角度运动了 LEN 个像素; α 用于控制滤波器的形状(见表 3)。实验结果表明,该算法抗滤波攻击能力很强,实验数据见表 3 和截图见图 8。

表 3 滤波攻击测试结果

Tab.3 Test result of filter attack

类型	NC	PSNR	模板	σ
均值滤波	0.969	46.07	[3,3]	N/A
圆形均值	0.887	40.76	$r=3$	N/A
高斯低通	0.993	55.74	[3,3]	0.5
运动模糊	0.835	42.71	$LEN=9, \theta=0$	
反锐化	0.931	35.19	$\alpha=0.2$	



图 8 滤波攻击测试

Fig.8 Filter attack test

3.4 缩放攻击

常见文献的缩放攻击测试对图像进行缩放后,用差值算法还原为原图大小后,再进行水印提取。这种方法对于水印的破坏性非常小,提取水印较为容易。笔者对原图进行缩放攻击后,不恢复至原图大小,而是直接以缩放中心裁切回原图大小(见图 9)。实验表明,抗放大裁切能力极强,放大 1.5 倍后仍能提取清晰的水印图,但抗缩小裁切能力略有欠缺。实验数据见表 4。

表 4 缩放攻击测试结果

Tab.4 Test result of scaling attack

缩小/%	NC	PSNR	放大/%	NC	PSNR
95	0.989	18.88	110	0.994	63.88
96	0.993	20.55	120	0.995	45.31
97	0.993	23.55	130	0.987	25.91
98	0.993	25.62	140	0.972	25.78
99	0.994	30.29	150	0.957	25.48



图 9 缩放攻击测试

Fig.9 Scaling attack test

3.5 噪声攻击

噪声攻击也是常见的攻击手段之一。实验对高斯噪声、椒盐噪声、斑纹噪声和泊松噪声都进行了详细的测试。其中,高斯、椒盐和斑纹噪声强度值从 0.001 到 0.01,提增步长为 0.001,实验数据见表 5~表 7。

表 5 高斯噪声攻击测试结果

Tab.5 Test result of Gaussian attack

强度	NC	PSNR	强度	NC	PSNR
0.001	0.998	61.20	0.006	0.991	48.36
0.002	0.997	58.19	0.007	0.987	47.14
0.003	0.997	55.27	0.008	0.984	46.37
0.004	0.997	49.91	0.009	0.979	43.12
0.005	0.995	48.51	0.010	0.971	45.50

表 6 椒盐噪声攻击测试结果

Tab.6 Test results of salt & pepper attack

强度	NC	PSNR	强度	NC	PSNR
0.001	1.000	67.94	0.006	0.997	55.09
0.002	0.999	63.31	0.007	0.997	54.80
0.003	0.998	61.71	0.008	0.997	52.67
0.004	0.998	60.78	0.009	0.997	50.94
0.005	0.998	57.55	0.010	0.997	51.54

表 7 斑纹噪声攻击测试结果

Tab.7 Test result of speckle attack

强度	NC	PSNR	强度	NC	PSNR
0.001	0.999	62.25	0.006	0.996	48.28
0.002	0.998	55.02	0.007	0.996	47.15
0.003	0.997	54.26	0.008	0.996	45.54
0.004	0.997	53.25	0.009	0.996	45.68
0.005	0.997	50.97	0.010	0.995	44.65

除了以上 3 种噪声攻击外,泊松噪声攻击后 PSNR 为 72.410,NC 为 0.9999,截图见图 10。结果表

明,该算法对各种噪声攻击鲁棒性极强。

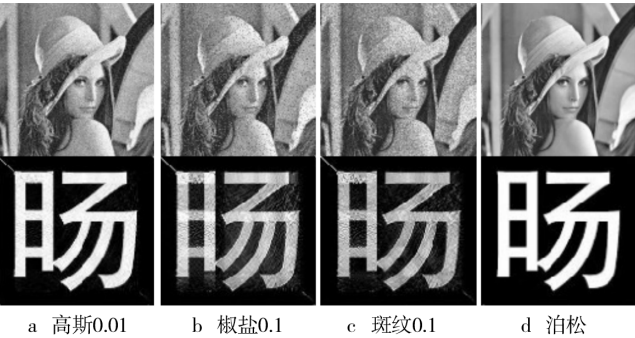


图 10 噪声攻击测试
Fig. 10 Noise attack test

3.6 其他攻击

此外,对原图进行了其他攻击。直方图均衡化后, $NC = 0.930$, $PSNR = 18.08$; 增加对比度后 $NC = 0.981$, $PSNR = 20.30$; 中值滤波后 $NC = 0.968$, $PSNR = 48.55$; 裁剪 1/8 后也极佳,图 11d 中 $NC = 0.949$, $PSNR = 15.96$; 图 11e 中 $NC = 0.956$, $PSNR = 16.81$; 但对裁切 1/4 效果一般。截图见图 11。



图 11 其他攻击测试
Fig. 11 Tests of other attacks

3.7 鲁棒性比对

本文与其他水印算法的鲁棒性比对见表 8,其中 $\checkmark$ 表示该算法具有鲁棒性。判断条件如下: JPEG 压缩,对于压缩因子和压缩率的范围要求在 10 到 100,相关系数 NC 在 0.95 以上;均值滤波,模块大小为 3×3 , NC 在 0.95 以上;椒盐、高斯、斑纹噪声强度范围在 0.001 到 0.01, NC 值在 0.95 以上;图像旋转:可抗 5° 以上旋转, NC 值在 0.8 以上;图像缩放,缩放后不还原大小,缩放倍率 0.95 到 1.5, NC 值在 0.95 以上。剪切 1/4、对比增强、脂肪均衡和反锐化: NC 值在 0.95 以上。对于常见的 11 种水印攻击,本算法对其中 10 种具有极强的鲁棒性。

表 8 本方法和参考文献方法抗攻击能力比对
Tab.8 Comparison of attack resistant with other articles

攻击 类型	本 文	文献								
		[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	
JPEG 压缩	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
均值滤波	✓	✓	✓							
椒盐噪声	✓	✓		✓	✓	✓				
高斯噪声	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
斑纹噪声	✓									
图像旋转	✓	✓	✓	✓	✓				✓	
图像缩放	✓									
剪切 1/4		✓	✓		✓	✓	✓		✓	
对比增强	✓					✓		✓		
直方均衡	✓							✓		
反锐化	✓							✓		

4 结论

结合奇异值分解和小波变换的优点,提出了一种基于 W-SVD 的数字水印算法。实验结果表明,该算法能够抗多种攻击,对于 JPEG 压缩、旋转放大、滤波噪声具有极强的鲁棒性,且算法简单,容易实现,具有一定的实用性。与同类算法比,拥有更多的抗攻击能力,但其对裁切、降低对比度的鲁棒性一般。在保持水印算法的隐蔽性和强鲁棒性的前提条件下,针对彩色图像,使用何种色彩模型嵌入和提取水印,将成为本实验下一步的研究重点。

参考文献:

[1] 刘真,丁盈盈. 一种优化的基于 DWT 的抗打印扫描的数字水印算法[J]. 包装工程,2011,32(11):93-99.
LIU Zhen,DING Ying-ying. An Optimized and DWT Based Printing and Scanning Resistant Watermark Algorithm[J]. Packaging Engineering,2011,32(11):93-99.

[2] 孙刘杰,李孟涛. 基于 CMYK 颜色空间的光全息水印算法研究[J]. 包装工程,2012,33(9):27-32.
SUN Liu-jie,LI Meng-tao. Study on Light Holographic Watermarking Algorithm Based on CMYK Color Space[J]. Packaging Engineering,2012,33(5):27-32.

[3] 李孟涛,孙刘杰,李晨璐,等. 基于小波变换的傅里叶加密印刷水印算法研究[J]. 包装工程,2012,33(1):108-112.
LI Meng-tao,SUN Liu-jie,LI Chen-lu, et al. Research on Fourier Encryption Watermarking Algorithm Based on Wavelet Transform[J]. Packaging Engineering, 2012, 33

- (1):108-112.
- [4] 李孟涛,孙刘杰.一种新的 DWT 域彩色图像数字水印算法及其实现[J].包装工程,2011,32(19):105-107.
LI Meng-tao,SUN Liu-jie. A New Color Image Watermarking Algorithm and Its Implementation in DWT Domain[J]. Packaging Engineering,2011,32(19):105-107.
- [5] 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.
AI Li-hua,CHEN Qing. Novel Blind Watermarking Based on Singular Value Decomposition and Wavelet Transform[J]. Application Research of Computers,2011,28(3):1155.
- [6] 王选宏,肖云.基于奇异值分解的小波域水印算法[J].现代电子技术,2010(5):86-88.
WANG Xuan-hong,XIAO Yun. Watermarking Algorithm of Wavelet Domain Based on Singular Value Decomposition [J]. Modern Electronics Technique,2010(5):86-88.
- [7] 徐国荣,王礼平.基于奇异值与提升小波的彩色图像水印算法[J].计算机应用研究,2011,28(5):1981.
XU Guo-rong,WANG Li-ping. Color Image Watermark Algorithm Based on SVD and Lifting Wavelet Transformation [J]. Application Research of Computers,2011,28(5):1981.
- [8] SONG Jian-hua,SONG Jian-wei,BAO Yu-hua. A Blind Digital Watermark Method Based on SVD and Chaos [J]. Procedia Engineering,2012,29:285-289.
- [9] LI Xiu-guang,YANG Xiao-yuan. A Blind Watermarking Algorithm Resisting to Geometric Transforms Based on SVD [J]. Wuhan University Journal of Natural Sciences,2011,16(6):487-492
- [10] LAI Chih-chin. An improved SVD-based Watermarking Scheme Using Human Visual Characteristics [J]. Optics Communications,2011,284(4):938-944
- [11] RUN Ray-Shine,HORNG Shi-jinn,LAI Jui-lin,et al. An Improved SVD-based Watermarking Technique for Copyright Protection [J]. Expert Systems with Applications,2012,39:673-689.
- [12] 蒋华,张敏.基于提升小波和奇异值分解的灰度水印算法[J].计算机应用研究,2009(8):3028-3030.
JIANG Hua,ZHANG Min. Gray Image Watermarking Algorithm Base on LWT and SVD[J]. Application Research of Computers,2009(8):3028-3030.

(上接第 95 页)

的上下料采用人工方式进行,存在工作效率低、工人劳动强度大的缺点。

2) 采用对心曲柄齿轮齿条机构和电磁铁解决了物料箱在给定有限空间较长行程上下料难题。

3) 采用 PLC 控制系统,实现了物料上下料系统自动化。

参考文献:

- [1] 高嵩.纯棉液氨抗皱免烫整理[J].纺织导报,1999(6):32-38.
GAO Song. Liquid Ammonin-Based Anti-crease & Easy-care Finish of 100% Cotton Fabric[J]. China Textile Leader, 1999(6):32-38.
- [2] 曹维妙.棉麻纤维液氨改性成套装备自动送料系统设计[D].上海:东华大学,2009.
CAO Wei-miao. The Automatic Material Transportation System Design for Liquid Ammonia Treatment Equipment for Cotton and Baster Fiber[D]. Shanghai: Donghua University,2009.
- [3] 韩立芳,张明勤,李海青,等.基于 TRIZ 的新型立体车库创新设计[J].工程设计学报,2008,15(2):86-89.
HAN Li-fang,ZHANG Ming-qin,LI Hai-qing,et al. Innovative Design of New-style Stereo Garage Based on TRIZ[J]. Journal of Engineering Design,2008,15(2):86-89.
- [4] 张付英,张林静,王平.基于 TRIZ 进化理论的产品创新设计[J].农业机械学报,2008,39(2):116-119.
ZHANG Fu-ying,ZHANG Lin-jing,WANG Ping. Study on Product Innovative Design Based on TRIZ Evolution Theory [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2008,39(2):116-119
- [5] 尚欣,刘晶.基于 TRIZ 的卷筒纸包装机折边机构设计[J].包装工程,2011,32(4):76-79.
SHANG Xin,LIU Jing. Flanging Mechanism Design of Web Packaging Machine Based on TRIZ [J]. Packaging Engineering,2011,32(4):76-79.
- [6] 檀润华.创新设计——TRIZ:发明问题解决理论[M].北京:机械工业出版社,2002.
TAN Run-hua. Innovative Design: TRIZ: Theory of Solving Problem[M]. Beijing: China Machine Press,2002.
- [7] 王向阳,曹学舰,李燕.基于 TRIZ 理论的传统剪刀创新设计[J].包装工程,2007,28(11):41-51.
WANG Xiang-yang,CAO Xue-jian,LI Yan. Innovative Design of Traditional Scissors by TRIZ Theory[J]. Packaging Engineering,2007,28(11):41-51.
- [8] KIMYS,COCHRANDS. Reviewing TRIZ from the Perspective of Axiomatic Design [J]. Journal of Engineering Design,2000,11(1):79-94.