

基于对象的图像数字水印

边 赞^a, 文 婷^b, 何 坤^a, 周激流^a

(四川大学 a. 计算机学院; b. 电子信息学院, 成都 610065)

摘 要: 为了克服传统水印嵌入算法存在的不足, 提出一种基于目标对象的数字水印算法, 首先根据图像形成的物理原理分析对象的深度信息; 其次利用深度信息提取 ROI 对象; 最后为了保护图像内容的完整性, 在背景区域和 ROI 区域嵌入鲁棒性水印, 为防止对 ROI 的篡改在该对象区域嵌入半脆弱水印。实验结果表明, 该方法具有较好的透明性, 对 JPEG 压缩、噪声、滤波攻击鲁棒性较好, 且对图像 ROI 区域的篡改检测效果较好。

关键词: 数字水印; 深度信息; 感兴趣区域; 鲁棒性水印; 半脆弱水印

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)08-3022-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.08.056

Digital watermarking based on object

BIAN Yun^a, WEN Ting^b, HE Kun^a, ZHOU Ji-liu^a

(a. College of Computer Science, b. College of Electronic & Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: In order to overcome shortcomings of traditional watermarking algorithm, this paper presented a new watermarking algorithm which based on object. At first, it analyzed the depth information from the original image, then completed the extraction of ROI object according to the depth information, at last, embedded robust watermarking for protecting the image content integrity, and embedded semi fragile watermarking in the ROI object. Experimental results indicate that this algorithm is invisible and robust to common image attacking and could detect the tamper.

Key words: digital watermarking; depth information; region of interest; robust watermarking; semi fragile watermarking

随着数字多媒体技术的飞速发展, 数字媒体的版权保护和内容真实性认证问题面临着更为严峻的挑战, 数字水印技术^[1]是一种将特殊的不可见标记嵌入在数字媒体(图像、声音、文档和视频等)中, 从而成为知识产权保护和数字多媒体防伪的有效手段^[2]。

传统的数字水印按水印嵌入位置不同可将其划分为空域水印和变换域水印。空域水印是直接载体信号的空间域中叠加水印信息, 其经典算法主要包括 LSB^[3] 算法、Patchwork^[4] 算法等, 虽然空域水印复杂度低、实时性好, 但鲁棒性较差。为了提高水印的鲁棒性, 常常在图像的变换系数中嵌入水印信号, 常见的变换域水印算法有 DFT 水印、DCT 水印、DWT 水印^[2,5,6]。但是, 不论是空域还是变换域的水印算法大都是面向的像素点或者邻域像素集, 平等对待背景和目标对象; 现有的基于图像内容的水印算法, 对于图像对象的有效划分实现困难, 无法对图像的 ROI 区域进行保护。为了对图像 ROI 区域进行保护, 本文提出一种基于目标对象的数字水印算法。

1 对象提取

图像是根据场景中的光经物体反射后被图像传感器接收后所形成的。在光学采集图像中^[7], 传感器所接收到两部分光, 一部分是景物光线在投射媒介中经衰减后的部分, 另一部分是由前方散射引起的大气光。因此, 在自然条件下, 图像的模式描述为^[8,9]

$$I(x, y) = J(x, y)t(x, y) + i(x, y)(1 - t(x, y)) \quad (1)$$

$$J(x, y) = i(x, y)r(x, y) \quad (2)$$

其中: (x, y) 为坐标点; $I(x, y)$ 为观察到的图像的亮度; $J(x, y)$ 为景物反射光线的强度, 也是理想状态下图像的亮度值; $i(x, y)$ 为入射光源; $r(x, y)$ 为反射光线; $t(x, y)$ 为景物光线折射率, 表示景物反射光线投射到相机的过程中没有被散射的部分。

由于大气中存在杂质, 到达相机的景物光线随着物体与相机之间距离的增大而呈衰减趋势, 景物光线折射率 $t(x, y)$ 与物体到图像接收器之间的距离 $d(x, y)$ 的关系如下^[10]:

$$t(x, y) = e^{-\beta d(x, y)} \quad (3)$$

由此可见, 感光器件对景物光线折射率 t 随着图像深度 d 的增加呈指数衰减。

式(3)中 β 是大气散射系数, 在采集图像中, 入射的自然光中 R, G, B 三种光线能量相同, 自然光线波长为 $\lambda_R > \lambda_G > \lambda_B$, 散射系数 $\beta = 1/\lambda$, 波长越短散射系数越大, 在采集图像的过程中能量消耗越多, 所以观察到的图像中蓝光亮度最暗。

在图像中任意一个局部区域内蓝光颜色通道中有最小值, 可以表示为

$$J^{\text{dark}}(x, y) = \min_{(m, n) \in \Omega(x, y)} (J^b(m, n)) \quad (4)$$

其中: (x, y) 为图像坐标点; $J^{\text{dark}}(x, y)$ 表示图像所有像素点的 R, G, B 颜色通道中有最小值; $J^b(m, n)$ 为图像中任意像素点蓝色通道的值; $\Omega(x, y)$ 为以点 (x, y) 为中心的矩形图像区域。排除天气的影响, 近似认为 $I(x, y) \approx J(x, y)$; 经过统计, 在颜色

收稿日期: 2011-12-31; 修回日期: 2012-02-14

作者简介: 边赞(1988-), 女, 甘肃武威人, 硕士, 主要研究方向为图像处理等(531579492@qq.com); 文婷(1985-), 女, 成都人, 硕士, 主要研究方向为图像处理等; 何坤(1972-), 男, 成都人, 副教授, 博士, 主要研究方向为图像处理、人脸识别等; 周激流(1963-), 男, 成都人, 教授, 博导, 主要研究方向为图像处理、人脸识别、模糊系统。

通道中有最小值的图像中有大约 95% 的像素点接近 0^[10]。

由式(1)(3)结合计算可以得出:

$$t(x, y) = 1 - \min_c \left(\min_{(m, n) \in \Omega(x)} \left(\frac{I^c(m, n)}{A^c} \right) \right) \quad (5)$$

式(5)和(3)结合得出:

$$d(x, y) = -\frac{\ln t(x, y)}{\beta} = -\frac{\ln(1 - \min_c \left(\min_{(m, n) \in \Omega(x, y)} \left(\frac{I^c(m, n)}{A^c} \right) \right))}{\beta} \quad (6)$$

图像对象提取方法主要由三部分组成:首先,利用上述深度计算公式求得图像的深度信息;然后,根据深度信息对图像进行划分,提取 ROI 对象(感兴趣对象);最后,由于图像中介质不均匀导致提取的 ROI 对象不完整,对所提取的图像对象进行优化。在进行对象提取时,考虑到人们感兴趣的对象往往集中在图像的前景部分,因此对图像深度 d 设定一个阈值为 0.3,其中,小于此阈值的为黑色区域,代表 ROI 对象,其余的为白色区域,代表背景对象。

图 1 为图像对象提取算法的仿真结果,其中(a)是原始图像,(b)是深度图像,(c)(d)分别为提取的 ROI 对象以及优化后的 ROI 对象。实验结果表明,本文提出的对象提取算法对于复杂的彩色图像能够基本正确地提取 ROI 对象,且经过优化后,具有更好的视觉效果。

2 对象的水印嵌入

2.1 鲁棒性水印嵌入

为了保护图像完整性,本文将水印信息嵌入到背景和 ROI 区域。首先为了抵抗一些分色攻击,使水印信号能够更好地分布于 RGB 三个通道中,本文在 YCbCr 颜色空间中嵌入水印;其次对不规则各对象的边界进行适当的调整,使其为规则的矩形区域。具体方法如下:

对提取的 ROI 对象的坐标点进行搜索,寻找 x 轴和 y 轴的最大最小值,分别表示为: $\max_x, \min_x, \max_y, \min_y$, 则 ROI 对象的范围是 $x \in [\min_x, \max_x] \cap y \in [\min_y, \max_y]$, 其他则是背景区域。

图 2 为 ROI 对象与背景对象的示意图,对于本文所研究的彩色深度图像,ROI 对象位于图像的下方,所以标号为 2、3、4 的区域均很小,背景对象主要由 1 号区域组成,可近似地表示为

$$\begin{cases} x \in [0, \text{width}] \cap y \in [0, \max_y] & \text{ROI 部分} \\ x \in [0, \text{width}] \cap y \in (\max_y, \text{height}) & \text{背景部分} \end{cases} \quad (7)$$

其中:width 为图像宽度,height 为图像高度。

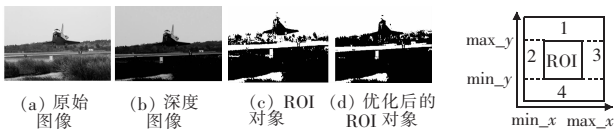


图 1 图像对象提取算法仿真结果

图 2 ROI 对象与背景对象示意图

图 3 为按上述方法进行尺寸调整后的 ROI 对象效果,图中框内的区域即为修正后的 ROI 对象,其余部分为背景对象。

最后,将 32×32 的原始水印图像进行 0-1 二值化处理,再分别根据背景和 ROI 区域大小进行鲁棒性水印嵌入。

本文的鲁棒性水印嵌入流程如下:

a) 利用对象特征提取的方法,提取图像的 ROI 对象 I_{ROI} 和背景对象 I_B 。

b) 对 ROI 对象和背景对象进行尺度调整,得到新的 ROI

对象 I_{ROI}^* 和新的背景对象 I_B^* , 同时保存这两区域的分界参数 $\max_x, \min_x, \max_y, \min_y$ 。

c) 对水印图像进行 0-1 二值化处理,即使 $W(x, y) \in \{0, 1\}$, 同时按照原始图像 ROI 对象与背景对象的比例关系,对水印图像进行分区,得到 W_B, W_R 两部分。

d) 对原始图像的 I_B^*, I_{ROI}^* 与原始水印信息进行异或运算,得到认证密钥 K , 完成水印的嵌入。

2.2 半脆弱水印嵌入

为了防止对图像 ROI 对象的恶意篡改在 ROI 区域嵌入半脆弱水印。由于空域半脆弱数字水印算法具有计算简单、对篡改区域的定位能力强、水印的隐藏性好等优点,本文将采用基于空域的半脆弱数字水印算法来实现对图像 ROI 对象的内容认证。该方法是以前传统的 LSB 算法为基础,依据人眼对不同灰度级的敏感程度的差异性,自适应计算水印的嵌入位置,同时通过设定篡改阈值,有效区分恶意攻击和常规操作。

人眼视觉系统对图像亮度的敏感程度的高低,可以选择在敏感性低的区域嵌入高强度的水印信息,而在敏感性高的区域嵌入低强度的水印。本文根据人眼的这一特点自适应调整水印嵌入的比特位同时控制嵌入权重。

$$b(x, y) = \text{round} \left(\frac{(7-h) \times |H_{ROI}^Y(x, y) - 127.5|}{127.5} \right) \quad (8)$$

$$H_{ROI}^Y(x, y) = I_{ROI}^Y(x, y) - L_{ROI}^Y(x, y) \quad (9)$$

其中: (x, y) 为像素点坐标; $b(x, y)$ 为嵌入水印的比特位; $I_{ROI}^Y(x, y)$ 表示 ROI 对象的亮度值; $H_{ROI}^Y(x, y)$ 为从 ROI 对象中所提取的高 h 位比特信息构成的高位图像所对应的亮度值。 h 为提取高位图像时所用到的参数,且 $h \leq 4$ 。

设图像的 ROI 对象的尺寸为 $W_{ROI} \times H_{ROI}$, 水印图像的尺寸为 $W_w \times H_w$, 由于本文选择半脆弱水印为 64×64 的小图像,通常情况下, $(W_{ROI} \times H_{ROI}) > (W_w \times H_w)$ 。为使两者的尺寸相匹配,本文首先对原始图像的 ROI 对象进行采样,其中 x 方向和 y 方向对应的采样间隔分别为: $X = W_{ROI}/W_w, Y = H_{ROI}/H_w$, 然后再按以下步骤对采样点进行水印嵌入:

a) 对水印图像作 0-1 二值化处理,即水印信号 $W(x, y)$ 应满足 $W(x, y) \in \{0, 1\}$ 。

b) 提取原始图像 ROI 对象采样点的高 h 比特位,得到高位图像 $H_R^Y(x, y)$ 。

c) 利用式(8)计算水印的嵌入位置 $b(x, y)$ 。

d) 根据步骤 c) 计算的结果,用水印信号 $W(x, y)$ 替换原始图像 $I_R^Y(x, y)$ 的相应比特位的值,实现水印的嵌入。

e) 重复以上步骤,直到所有水印信息嵌入完毕,得到含水印的图像。

3 实验仿真与分析

3.1 不可见性评价

水印的不可见性的评价方法主要可以分为主观和客观评价两种。由于观察者个体的差异性,利用主观评价方法所得到的结论也会存在一定的差异性,本文将采用峰值信噪比 (PSNR) 来评价含水印图像的质量。

通常情况下认为当含水印图像与原始图像之间的 PSNR 超过 30 dB 时,人们便很难分辨出两者之间的差别,此时说明含水印具有不可见性。图 4 中的数值表明,图像对应的 PSNR 均远远大于 30 dB,说明本文的水印算法具有很好的不可见

性,同时也可以看出在没有攻击的前提下,能够完全正确地提取水印。

为了更好地说明本文算法具有较好的不可见性,表 1 为本文算法与 LSB 算法、文献[11,12]中算法的 PSNR 对比。

表 1 不同算法嵌入水印后的 PSNR 值对比

	本文算法	LSB 算法	文献[11]算法	文献[12]算法
PSNR	50.805 2	26.504 8	42.060 8	24.147 9

从表 1 可以看出,本文算法的 PSNR 值远大于其他算法,说明本文算法具有较好的不可见性,水印嵌入后不易被察觉。

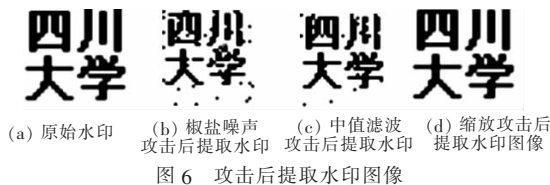
3.2 鲁棒性评价

鲁棒性是水印的另一项非常重要的指标。水印的鲁棒性主要表现为水印抵抗常规操作的能力。本文采用归一化相关系数(NC)来衡量水印的可靠性,NC 描述了提取水印与原始水印的相似程度。

本文在 VC++6.0 环境下,对提出的算法进行了仿真实验,并对水印鲁棒性进行了测试。实验中,图 5 为原始图像和原始水印图像,其中(a)为 320×480 的景深图像,(b)为 32×32 的原始鲁棒性水印图像。



水印的鲁棒性主要体现为水印系统对图像压缩、噪声、滤波、几何失真等常规操作的能力。这里通过压缩攻击、噪声攻击、滤波攻击、几何攻击等攻击实验对本文算法进行鲁棒性测试,图 6 为遭受攻击后提取的水印图像。



本文利用归一化相关系数 NC 来评价水印的鲁棒性,并与 Contourlet 域鲁棒性水印算法^[13]、自适应扩频盲鲁棒性水印算法^[11]、小波域鲁棒性水印算法^[12]作对比,结果如表 2 所示。

表 2 攻击后不同算法提取的水印 NC 值

攻击类型	不同算法的 NC 值			
	本文方法	Contourlet 域鲁棒性水印算法	自适应扩频盲鲁棒性水印算法	小波域鲁棒性水印算法
椒盐噪声	0.956 4	0.944 0	0.947 3	0.872 9
高斯噪声	0.959 2	0.944 2	0.945 7	0.836 2
JPEG 压缩	0.960 4	0.953 3	0.948 5	0.929 1
高斯滤波	0.958 8	—	—	0.930 6
中值滤波	0.953 5	0.941 1	0.941 9	0.865 2
旋转攻击	0.829 7	0.878 4	—	—
裁剪攻击	0.879 0	0.725 7	0.855 9	0.828 2

由表 2 结果可知,本文算法在多种攻击下 NC 值大于其他算法,说明本文算法具有较好的鲁棒性。在进行几何攻击时,对于旋转攻击,由于受攻击后图像坐标和水印坐标的同步性受到破坏,所以提取的水印难以识别;对于裁剪攻击,由于会丢失信息,所以提取的水印视觉效果也会受到影响。但 NC 值都大于 0.8,说明本文算法对旋转攻击具有一定鲁棒性。

3.3 半脆弱水印评价

为实现对图像 ROI 对象内容真实性与完整性的认证,并

有效区分常规操作与恶意攻击,使没有遭受攻击或仅仅是受到轻微常规处理的图像通过认证,而使遭受恶意攻击的图像不能通过认证,本文采用原始水印图像与提取水印图像的差值图像来实现图像认证的功能。定义 $D(x,y)$ 为差值图像,则

$$D(x,y) = W'(x,y) \oplus W(x,y) \quad D(x,y) \in \{0,1\} \quad (10)$$

其中: $D(x,y) = 0$ 代表正确检测点, $D(x,y) = 1$ 代表错误检测点。

根据差值图像 $D(x,y)$ 像素点的分布形式,可以对图像遭受攻击的类型进行大致的区分,具体做法如下:

a) 根据错检点分布的疏密程度,对 $D(x,y)$ 中的错检点进行归类,当错检点 8 邻域内不存在其他错检点,则定义该点为孤立点;否则为密集点。

b) 对差值图像 $D(x,y)$ 中的孤立点数目,密集点数目进行统计。设 N_g 为孤立点总数, N_m 为密集点总数。

c) 利用步骤 b) 的统计结果,计算差值图像的错检率与密集度。设错检率为 r ,错误点密集度为 m ,水印图像的尺寸为 $M \times N$,则

$$r = (N_g + N_m) / (M \times N) \quad (11)$$

$$m = N_m / (N_g + N_m) \quad (12)$$

d) 设定阈值 T ,对图像进行认证。可分为三类情况:

$$\begin{cases} r=0 & \text{无攻击} & \text{通过认证} \\ r>0 \cap m < T & \text{一般攻击} & \text{通过认证} \\ \text{other} & \text{恶意攻击} & \text{不能通过认证} \end{cases}$$

表 3 为不同算法的一般处理和恶意攻击后的水印图像错检率 r 、错检点密度 m 以及认证情况。其中认证通过表示一般攻击,认证不通过表示恶意攻击。本文对认证阈值 T 进行理论推导,得出 $T=0.90$ 。

表 3 不同算法的攻击类型判别性能比较

攻击类型	错检率 r	密集度 m	本文算法	Xiao 等人 ^[14] 算法	Woo 等人 ^[15] 算法	文献 ^[16] 算法
椒盐噪声	0.0366	0.3239	通过	未通过	未通过	通过
高斯噪声	0.3981	0.9736	未通过	未通过	未通过	未通过
JPEG 压缩	0.1436	0.7987	通过	通过	通过	通过
中值滤波	0.2351	0.8940	通过	未通过	未通过	未通过
旋转攻击	0.4423	0.9889	未通过	未通过	未通过	未通过
裁剪攻击	0.0209	1.0000	未通过	未通过	未通过	未通过

由表 2 实验结果可知,本文算法较为合理地实现了攻击类型的自动分类,有效地对椒盐噪声、JPEG 压缩、中值滤波判别为一般攻击,而一些半脆弱水印算法^[14-16]却将这些操作划为恶意攻击。然而 JPEG 压缩操作对视觉影响很小,不应归为恶意攻击。所以本文算法可以进行较好的攻击分类,从而防止重点图像的篡改。

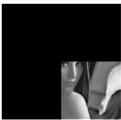
4 结 束 语

本文方法具有较好的鲁棒性,能有效对图像内容完整性进行保护,半脆弱水印的验证也有效地防止对图像目标对象的篡改。由于本文选用二值图像为水印图像,虽然具有很好的隐蔽性,但是实用性不强,希望在进一步的研究中使用灰度图像和彩色图像为水印图像。

参考文献:

- [1] LANGELAAR G C, SETYAWAN I, LAGENDIJK R L. Watermarking digital image and video data, a state-of-the art overview [J]. IEEE Trans on Signal Processing, 2000, 17(5): 20-46.

表 8 剪切攻击

	剪切方式	本文	文献[11]
剪掉左上角 1/4			
剪掉左上角 9/16			
保留右下角 1/4			
保留中心 1/4			

4 结束语

本文提出了一种基于 DWT-SVD 的数字水印新算法,充分利用了 HVS 的光谱特性和亮度掩蔽特性来对彩色载体图像的 R 、 G 、 B 三个分量进行嵌入容量的分配和嵌入强度的确定,在保证水印不可见性的前提下尽可能地提高了水印的鲁棒性。算法通过调整一对奇异值的大小关系进行调整来实现水印的嵌入,突破了加性算法、乘性算法等传统的水印嵌入方法,解决了被提取水印中含有原始图像频率系数从而影响水印检测准确性的问题,同时实现了水印的盲提取。此外,在水印嵌入前,用 Fibonacci 变换对水印进行了预处理,为算法提供了更大的密钥空间,进一步增强了水印安全性。本文算法的不足之处在

于水印容量不够大,今后需进一步改进以增加水印容量。

参考文献:

- [1] 师晶,林克正,秦丽萍. 基于 DWT 和 SVD 的改进分块图像水印算法[J]. 哈尔滨理工大学学报,2009,14(5):35-38.
- [2] BHATNAGAR G, WU Q M J. A new robust reference watermarking framework in gyrator domain[C]//Proc of the 24th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. [S. l.]: IEEE Press, 2011:648-651.
- [3] ABDALLAH E E, BHATTACHARYA P, HAMZA A B. An image watermarking scheme using fast Hadamard transform and singular value decomposition[C]//Proc of the 18th International Conference on Pattern Recognition. 2006:673-676.
- [4] 周鹏颖,沈磊,田小林,等. 基于小波-奇异值分解的数字水印新算法[J]. 计算机应用研究,2010,27(5):1896-1898.
- [5] 李用江,张辰光,李昌利,等. 猫映射周期性与 Fibonacci 模数列周期性的内在联系[J]. 计算机应用,2010,30(4):1029-1032.
- [6] ZOU Jian-cheng, WARD R K, QI Dong-xu. A new digital image scrambling method based on Fibonacci numbers[C]//Proc of IEEE International Symposium on Circuits and Systems. [S. l.]: IEEE Press, 2004:965-968.
- [7] 周波,陈健. 基于奇异值分解的、抗几何失真的数字水印算法[J]. 中国图象图形学报,2004,9(4):506-512.
- [8] RUN R S, HORNG S J, LAI J L, et al. An improved SVD-based watermarking technique for copyright protection[J]. Expert Systems with Applications, 2012, 39(1): 673-689.
- [9] 王丽娜,郭迟,李鹏. 信息隐藏技术[M]. 1 版. 武汉:武汉大学出版社,2004:268-271.
- [10] 黄润生,黄浩. 混沌及其应用[M]. 2 版. 武汉:武汉大学出版社,2005:134-146.
- [11] WANG Hui-qin, ZHAO Min. A blind watermarking algorithm for color image based on singular value quantization[C]//Proc of the 6th International Conference on Digital Content, Multimedia Technology and its Applications. 2010:59-62.
- [12] HE K M, SUN J, TANG X O. Single image haze removal using dark channel prior[C]//Proc of IEEE Conference on Computer vision and Pattern recognition. 2009:1957-1963.
- [13] 陈洪涛,朱从旭. 一种基于 HVS 的图像小波域鲁棒性数字水印[J]. 计算机工程与应用,2010,46(10):78-81.
- [14] 陆萍,董虎胜,马小虎. 基于混合域的自适应扩频盲鲁棒水印算法[J]. 计算机工程与设计,2010,31(10):2408-2411.
- [15] 刘如京,杨煜飏,王玲. 基于 NMF 和 SVD 相结合的 Contourlet 域鲁棒性水印算法[J]. 计算机应用研究,2010,27(9):3507-3513.
- [16] XIAO J, WANG Y. A semi-fragile watermarking tolerant of Laplacian sharpening[C]//Proc of International Conference on Computer Science and Software Engineering. Washington DC: IEEE Computer Society, 2008:579-582.
- [17] WOO C S, JIANG D, BINH P. Semi fragile watermarking with self authentication and self recovery[J]. Malaysian Journal of Computer Science, 2009, 22:64-84.
- [18] 丁文霞,卢焕章,王浩,等. 一种基于混沌的彩色图像空域半脆弱水印算法[J]. 国防科技大学学报,2008,30(4):59-63,102.
- [19] 肖磊. 一种具有高攻击类型判别能力的图像空域半脆弱水印算法[J]. 计算机科学, 2010, 37(2):286-289.
- [20] 王颖,肖俊,王蕴红. 数字水印原理与技术[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [21] SCHYNDEL R G, TIRKEL A Z, OSBORNE C F. A digital watermarking [C]//Proc of IEEE International Conference on Image Processing. 1994:86-90.
- [22] BENDER W, GRUHL D, MORIMOTO N, et al. Techniques for data hiding [J]. IBM Systems Journal, 1996, 35(3): 313-336.
- [23] ZHENG Jiang-bin, FENG Sha. A color image multi-channel dwt domain watermarking algorithm for resisting geometric attacks[C]//Proc of IEEE Conference on Machine Learning and Cybernetics. 2008: 1046-1051.
- [24] CHANG C C, FAN Y H, TAI W L. Four-scanning attack on hierarchical digital watermarking method for image tamper detection and recovery[J]. Pattern Recognition, 2008, 41(2): 654-661.
- [25] WEI Yu, HAO Yan-ling, LI Yu-shen. A multipurpose digital watermarking algorithm of color image[C]//Proc of International Conference on Mechatronics and Automation. 2009:112-117.
- [26] FATTAL R. Single image dehazing[J]. ACM Trans on Graphics, 2008, 27(3):1-9.
- [27] TAN R. Visibility in bad weather from a single image[C]//Proc of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. USA: IEEE Press, 2008:1-8.

(上接第 3024 页)