

文章编号 1004-924X(2009)07-1722-08

应用提升格式小波变换的数字水印算法

樊亚春¹, 周明全², 王醒策², 刘新宇³

(1. 北京师范大学 教育技术学院, 北京 100875; 2. 北京师范大学 信息科学与技术学院, 北京 100875;
3. 中国科学院 计算技术研究所, 北京 100080)

摘要:针对彩色文物图像在 WEB 共享时面临的版权保护问题,提出了一种改进的应用提升格式小波变换的数字水印算法。采用 $YCbCr$ 颜色模型以保证视觉系统对亮度和色彩的敏感性;使用 Daubechies9/7 双正交小波对图像信号进行频域转换后嵌入水印,提高水印的抗攻击能力,同时采用提升格式实现小波变换,提高算法的稳定性;将水印图像的低频和中频信息嵌入到文物图像的中频信息中,并利用频域相邻系数关系动态地改变嵌入位置和数值来实现嵌入过程,提高水印嵌入的健壮性和安全性。实验结果表明,本算法在嵌入水印后,文物图像视觉质量损失较小,其峰值信噪比(PSNR)为 51.602 4,高于同类算法;在抗几何攻击和有损压缩攻击等方面,效果比 LSB 算法和 DCT 算法有较大幅度的提高。此技术可应用于数字博物馆等具有高精度安全要求的领域中。

关键词:数字水印算法;Daubechies9/7 小波;中频系数;提升格式;频域相邻系数

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A

Watermark algorithm using lifting-scheme wavelet transform

FAN Ya-chun¹, ZHOU Ming-quan², WANG Xing-ce², LIU Xin-yu³

(1. *School of Education Technology, Beijing Normal University, Beijing 100085, China;*
2. *College of Information Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100085, China;*
3. *Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Science, Beijing 100080, China*)

Abstract: An improved algorithm based on a lifting scheme wavelet transform is proposed to protect the copyright of a cultural relic image during Web sharing. The $YCbCr$ color space is used to ensure the lightness and color sensitivity in a visual system. Then, the Daubechies9/7 biorthogonal wavelet is introduced to transform the image into a frequency domain and to hide watermark information to improve the anti-attacked capability. Meanwhile, a lifting scheme is used to enhance the stability of the algorithm. Finally, in order to increase algorithm's robustness and security, a new embedding method is presented to embed the intermediate and high frequency watermark information into image's high frequency coefficients, and the embedded position is switched dynamically in depending on the neighborhood coefficients. Experimental results indicate that the cultural relic image show a better visual quality after embedding watermark, and the Peak Signal Noise Ratio(PSNR) of the watermarked im-

收稿日期:2008-06-02;修订日期:2008-09-17.

基金项目:国家 863 高技术研究发展计划资助项目(No. 2008AA01Z301);国家自然科学基金重点项目(No. 60736008/F010207);国家自然科学基金资助项目(No. 60673100/F020106, 60803082/F020503);中国博士后基金资助项目(No. 20060400407);北京师范大学青年基金资助项目

age is 51.602 4, which is better than that of other algorithms. Compared with LSB and DCT algorithms, the proposed algorithm has good performance in the anti-attack and lossy compression and is suitable for the fields which request high security such as digital museums.

Key words: watermark algorithm; Daubechies9/7 wavelet; intermediate coefficient; lifting scheme; neighborhood coefficient in frequency domain

1 引言

数字水印是将特定信息嵌入到数字媒体从而实现其安全保护的技术。按照嵌入水印信息的类型可将数字水印分为类噪声序列水印和标识图像水印。过去几十年中第一类水印嵌入方法一直被作为此技术的研究重点^[1],但是由于水印技术的广泛应用,采用水印方法进行数字化保护的用户不再属于计算机专业人员,他们要求将有意义的图像信息作为水印信号,以方便辨识和证明。随着图像压缩技术的发展,将图像信息嵌入到数字媒体中^[2-6],同时保证水印信息的健壮性已成为可能。

有效的水印算法必须满足健壮性、安全性和低计算复杂度的要求^[5]。目前对于水印算法的研究主要分为空域水印算法和频域水印算法。空域水印算法中影响最大的是 LSB(Least Significant Bit)算法^[7-8],虽然其具有易于实现且计算复杂度低的优点,但其抗攻击性弱,在健壮性上难以满足要求。与之相比频域水印算法则较健壮,因为信号在经过频率域变化后使得嵌入的水印图像分布不规则,从而增强抗攻击能力。在频域水印算法中,基于离散小波变化(Discrete Wavelet Transform, DWT)的水印算法越来越受到关注^[9-10]。Diet 等提出利用小波滤波参数提高水印安全性^[11]; Zhang 利用小波变化的局部特性和多分辨率特性嵌入水印信号^[12]; Wang 和 Lin 提出基于小波树的水印算法^[13]; Zhang^[14]提出利用小波包实现水印算法。这些算法对于几何攻击的鲁棒性较强,但对于滤波尤其是压缩攻击却比较脆弱。

在将博物馆信息数字化并通过 Internet 达到共享的同时,也面临着这些数字信息被随意复制、散发、篡改以及文物信息版权被窃取的问题,为了有效地防止这种行为的发生,本文针对数字博物馆彩色文物图像的特点设计了数字水印算法,保护这些珍贵信息在共享的同时版权不受侵害。数

字博物馆中的图像为了体现真实感,皆为彩色数字图像;另外为了适应 WEB 浏览的需要,皆采用 JPEG2000 的压缩格式。为此,本文针对这些特性,提出了具体解决方案。

早在 1998 年 Wolfgang 等^[15]在其文章中指出:只有使用与压缩方式相同的变换方法嵌入水印才能够使水印对此种压缩具有较强的抵抗力,因此本文中采用与 JPEG2000 相同的 Daubechies9/7 双正交小波变换作为频域变换基础,并用速度和性能都具有优势的提升格式来实现小波变换过程。针对文物彩色图像,为了提高算法的健壮性,采用 YC_bC_r 颜色模型变换文物彩色图像,并将水印信息嵌入中频位置;针对目前水印算法多采取视觉掩模来选择嵌入水印位置的方法,提出利用频域相邻系数关系动态地改变嵌入位置和数值的方法。所提出的算法不但对几何变换攻击具有很强抵抗能力,而且对 JPEG2000 格式压缩、滤波和对比度调整等变换仍保持较强的健壮性,并且计算量较少。此算法不仅可以应用到文物图像等对版权信息要求高的图像水印领域,而且可扩展到压缩视频等相关领域。

2 算法模型及技术框架

2.1 算法模型

为了使数字博物馆中数字文物图像能够起到展示、欣赏、借鉴、研究的作用,必须采用彩色图像的方式。而针对彩色图像,在基于提升格式小波变换的图像数字水印算法中,为了有效利用人类可视系统对亮度变化比对色度变化更敏感的特点,以及 YC_bC_r 强调图像亮度的特性,本文算法采用 YC_bC_r 颜色模型代替 RGB 颜色模型。在分别对 Chun-Hsien Chou 和 Kuo-Cheng Liu 的文章^[16]中基于 RGB、YUV 和 YC_bC_r 模型的嵌入水印算法后比较,认为采用 YC_bC_r 颜色模型后算法具有更好的健壮性,这也是本文采用此模型进行彩色水印算法预处理的一个重要依据。

以下为本文算法的主要流程,首先对图像信号进行颜色模型转换,然后利用 Daubechies9/7 双正交小波对图像信号进行频域转换,并使用提升格式来实现小波变换过程^[17],最后将水印信号嵌入到宿主图像信号中。图 1 为基于 DWT 的水印算法嵌入过程的详细流程。

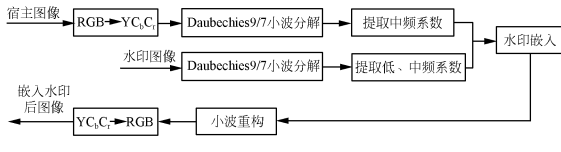


图 1 嵌入水印过程

Fig. 1 Embedding watermark process

与之相对应的逆过程是水印提取过程。水印提取过程是水印嵌入过程的一个反向的变换过程,其提取过程不需要原始宿主图像参与。具体流程如图 2 所示。

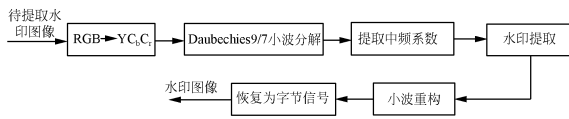


图 2 提取水印过程

Fig. 2 Extracting watermark process

按照算法流程,以嵌入过程为例对算法中的重要技术点进行详细说明。

2.2 基于提升格式 Daubechies9/7 双正交小波变换

Daubechies 小波基因其具有线性相位、消失矩较大、能量集中性好等特性已经被嵌入 JPEG2000 压缩标准^[18]。水印信号和宿主图像经过 Daubechies9/7 小波分解后的低频部分分辨率高,高频部分细节突出,便于水印信号的嵌入,而且抗攻击能力强。

提升格式被誉为构造第二代小波的关键技术。Daubechies^[19]证明用 Mallat 算法实现的小波变换均可用提升格式来实现。此项技术以双正交小波和完全可恢复滤波器组为基础,在保持小波双正交特性的条件下,通过原始提升和对偶提升过程,实现小波及其对偶性能的改善,以满足各种应用。提升格式利用信号的局部相关性来实现信号的预测与更新。预测环节将与待预测信号相邻的信号值经过适当的预测算子预测此信号值,

预测误差即为高频信息。而更新环节将预测环节得到的高频信息用更新算子来调整信号的下抽样,得到低频信息,图 3 为 Daubechies9/7 小波的提升方案:

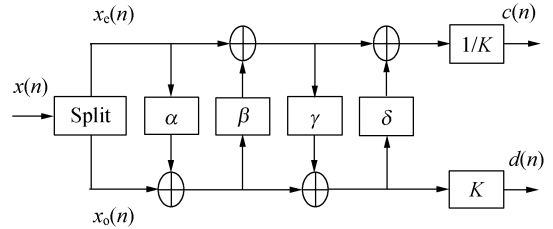


图 3 Daubechies9/7 小波的提升方案

Fig. 3 Daubechies9/7 lifting scheme

其中, $\alpha = -1.586\ 134\ 342$,

$\beta = -0.052\ 980\ 118\ 6$,

$\gamma = -0.188\ 291\ 107\ 5$,

$\delta = 0.443\ 506\ 852$, $K = 1.230\ 174\ 105$, 分别为各部分提升域变换算子。

Daubechies9/7 小波提升格式由 4 个提升步骤和 2 个缩放步骤来实现,具体如公式(1)~(6)所示:

预测 1:

$$c_1(2n+1) = x(2n+1) + \alpha[x(2n) + x(2n+2)], \quad (1)$$

更新 1:

$$d_1(2n) = x(2n) + \beta[c_1(2n-1) + c_1(2n+1)], \quad (2)$$

预测 2:

$$c_2(2n+1) = c_1(2n+1) + \gamma[d_1(2n) + d_1(2n+2)], \quad (3)$$

更新 2:

$$d_2(2n) = d_1(2n) + \delta[c_1(2n-1) + c_1(2n+1)], \quad (4)$$

系数缩放 1:

$$c_3(2n+1) = (1/K) \times c_2(2n+1), \quad (5)$$

系数缩放 2:

$$d_3(2n) = K \times d_2(2n). \quad (6)$$

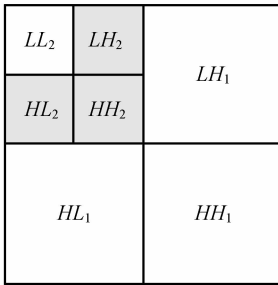
与通常方法不同, Daubechies9/7 小波新增一个预测和更新环节,这样不仅可以防止图像重建误差的扩大,提高系统稳定性,同时也保留了原位计算的特性,使得运算所需内存少,加快了变换速度。基于提升格式的 Daubechies9/7 小波变换具

有高效性、并行性、本位操作性、变换可逆性等特点。同时它在提高算法稳定性的同时,降低了算法的时间复杂度和空间复杂度。

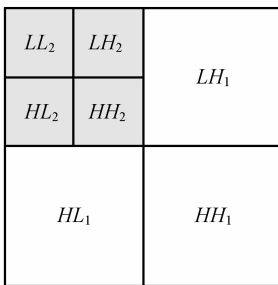
2.3 水印信息嵌入

2.3.1 水印信息嵌入位置选择

Cox 等曾经提出了强壮水印算法的重要原则^[20]:为了使水印强壮,水印信号应该嵌入到原始数据中对人感觉最重要的部分,在频域空间中,重要部分即为低频分量,但是此类算法也易导致水印的透明性不足。而将水印信息添加至图像最不重要位,虽然能够保证图像质量的损失最低,但是却易引起水印健壮性低下。在综合考虑这两类算法的基础上,兼顾水印的健壮性和透明性,本文的算法将水印信息添加至图像的中频系数中。



(a) 水印嵌入位置
(a) Embedding position



(b) 需要嵌入的水印信息
(b) Watermark information

图 4 水印信息嵌入位置

Fig. 4 Watermark embedding positions

在有损压缩中,人眼不敏感的高频区域往往会被抛弃以保证压缩率。因此,在本文算法中依然会选择抛弃高频信息,利用中低频信息完成水印信息的嵌入。算法以原始数据经过 FDWT 后的中频信息作为水印信息的载体位,即如图 4(a)中提取二层小波分解后第二层的高频系数。而对

于水印信息图像则如图 4(b)提取出经过 FDWT 后的低频和中频信息作为嵌入信息,即提取二层小波分解后第二层的低频和高频系数。

利用低中频信息完成水印嵌入位置的选择,既保证了算法的健壮性,又保证了算法对于文物图像本身的低损伤性。

2.3.2 水印信息嵌入方法

为了保证水印信息的正确嵌入和提取,以及水印信息的安全,本文提出利用动态改变相邻中频系数之间的关系来实现将水印的低频和中频信号嵌入到原始图像的中频系数的过程。首先判断水印信息二进制码,如果其值为 1,且待嵌入水印系数比其下一个系数小,则对这两个系数进行值交换;如果其值为 0,且待嵌入水印系数比其下一个系数大,则这两个系数亦进行值交换。换句话说就是要保证嵌入 1 时,此系数大于下一个系数值;而嵌入 0 时,此系数小于等于下一个系数值。具体如公式(7)所示。

$$B(W_i) = \begin{cases} 0 & I(u_1, v_1) < I(u_2, v_2) \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

图 5 为水印信息嵌入过程的流程图。其中 w 为水印信息, $wlen$ 为水印信息长度, I 为待嵌入水印图像信息, $swap$ 函数的功能是交换两个数值, i 控制嵌入的水印信息长度。

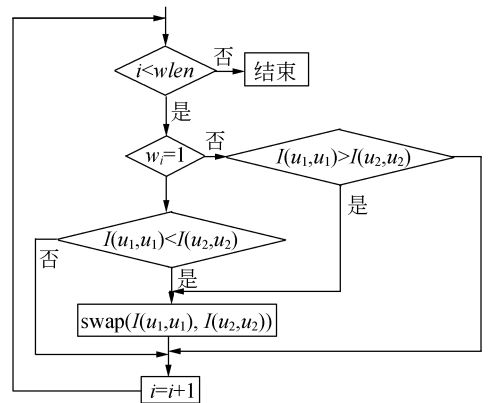


图 5 水印嵌入过程流程图

Fig. 5 Watermark embedding flow chart

3 实验验证与结果分析

3.1 算法测试结果

由于本算法是针对于数字博物馆项目中文物

图像版权保护而提出,因此算法设计侧重于水印的健壮性和对文物图像的低损伤性。在保证水印信息在嵌入过程中对原始图像破坏最小且不影响图像本身的视觉质量的基础上使其能够抵抗对图像恶意的侵权行为。

图 6 为利用数字博物馆水印嵌入系统嵌入水印后的提取效果,其中左图为嵌入水印后的彩色文物图像,右图为提取出的水印图像,本算法支持彩色水印图像的嵌入。

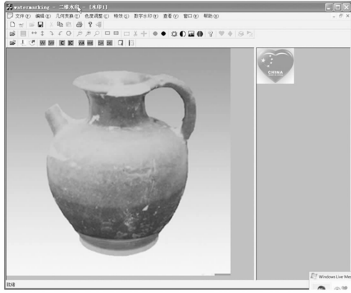


图 6 嵌入水印提取结果

Fig. 6 Extracted watermark result

在数字博物馆中,文物图像需要在网络上共享使用,因此 JPEG2000 有损压缩成为最合适的压缩方式。由于同时也要求水印算法在抗击 JPEG2000 压缩方面有较好的效果,本算法选取 Daubechies9/7 小波第二层变换的中频信号嵌入水印信息,取得了一定的成果,图 7 为经过 JPEG2000 的压缩率为 50% 的图像和从中提取出的水印图像,左图为压缩后的嵌入水印图像,右图为提取出的水印信号,水印信号稍有变形,但不影响标识的判断。



图 7 JPEG2000 压缩 50% 后提取水印图

Fig. 7 Extracting watermark after 50% compression with JPEG2000

3.2 算法性能及其分析

本文提出的算法采用 Daubechies9/7 小波,并且将水印信息嵌入到中频信号中,减少了嵌入水印后对图像本身质量的影响,同时提高了水印算法的抗攻击能力。算法性能分析中,系统对一幅 600×600 的彩色文物图像嵌入大小为 100×100 的彩色水印信号。

对于彩色图像的客观评价标准通常是用恢复图像偏离原始图像的误差来衡量图像恢复的质量,最常用的有均方误差 (MSE) 和峰值信噪比 (PSNR)。

首先,对图像分别使用本文算法和文献[14]算法嵌入水印,比较其 PSNR 值,从表 1 可以看出由于本算法将水印信号嵌入到中频信号中,减少了对于原始图像本身质量的破坏。

表 1 嵌入水印后图像 PSNR 值比较

Tab. 1 Comparison of PSNRs of watermarked images with two algorithms

算法	本文算法	文献[14]算法
PSNR	51.602 4	50.704 9

其次,由于本系统中选取的水印信息为二维彩色图像标识,因此对于算法经过攻击后所提取出来的水印图像质量需要有一定的评价标准,以下分别对本文算法、基于离散余弦变换水印算法以及基于 LSB 的空域水印算法提取的彩色水印图像的 PSNR 值进行了比较,文献[8,21]中描述了后两种算法的具体过程。分别对嵌入水印后的图像进行裁减、压缩、滤波和亮度对比变换后提取水印图像,并对图像质量进行评价。

图 8 给出了图像经过不同程度的裁剪后,各个算法提取出的水印图像的 PSNR 值,此处裁剪指的是以中心位置为轴选取任意区域裁剪。由图 8 结果可以看出,图像经过低裁减率裁剪后 3 种算法提取出的图像质量差别不是很大,但是图像经过大部分裁剪后,DWT 算法的峰值信噪比下降速度明显缓慢,图像的损耗相对较低。

图 9 给出了图像进行 JPEG2000 压缩,在不同程度的压缩率下,各个算法提取出的水印图像的 PSNR 值。从图 9 中可以看出,两种频域算法抗压缩效果明显优于空域算法。这是由于 JPEG2000 压缩的根本原理是舍弃高频系数,因

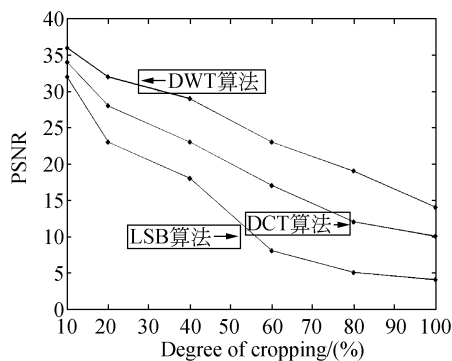


图 8 不同程度裁剪后提取水印图像的 PSNR 值比较

Fig. 8 PSNR comparison after different degrees of cropping

此这种攻击对于基于 DCT 的算法和本文提出的算法不会产生很大的影响,它们是选择将水印信息嵌入在中频系数中。

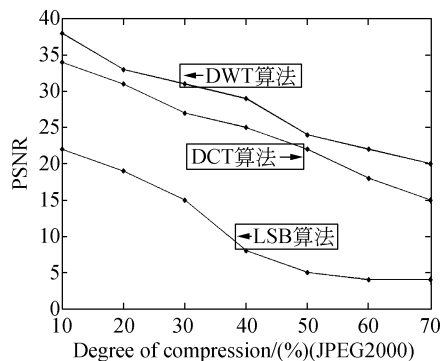


图 9 不同程度压缩后提取水印图像的 PSNR 值比较

Fig. 9 PSNR comparison after different degrees of compression

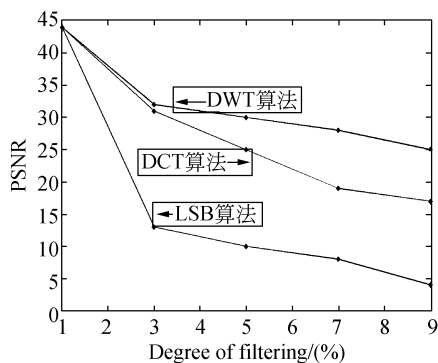


图 10 不同程度滤波后提取水印图像的 PSNR 值比较

Fig. 10 PSNR comparison after different degrees of filtering

图 10 给出了图像在进行不同程度的中值滤波后,各个算法提取出的水印图像的 PSNR 值。从图 10 中可以看出,当中值滤波的模板稍微增大后,空域算法的效果就明显下降,可见空域算法在这方面的健壮性低,而其它两种算法提取出水印图像质量虽有所下降,但总的效果还是比较好的。

图 11 给出了图像在进行不同程度的亮度对比度变换时,各个算法提取出的水印图像的 PSNR 值。亮度对比度的调整主要是依靠改变像素位来实现的,因此空域算法的效果较差。而基于 DCT 和基于 DWT 的算法,由于采用改变频率域的系数嵌入水印,因此在一定程度上能够抵抗这种变化对提取水印图像质量的影响。

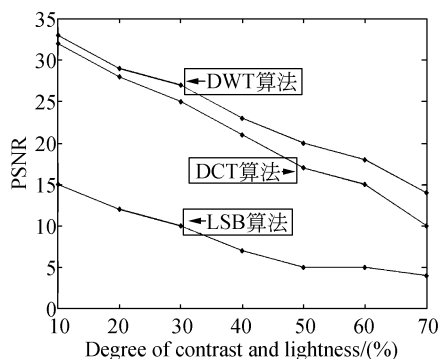


图 11 不同亮度、对比度调整后提取水印图像的 PSNR 值比较

Fig. 11 PSNR comparison after different degrees of contrast & lightness adjustment

通过上面的实验结果可以分析得到,本文采用基于 Daubechies9/7 小波并将水印嵌入中频信号的彩色图像数字水印算法,比基于 DCT 的水印算法和基于空域的 LSB 算法对各种攻击的抵抗效果都好。

4 结 论

本文提出了一种彩色图像数字水印的新算法,首先对图像信号变换为 YC_bC_r 颜色模型,然后对信号进行基于 Daubechies9/7 小波基的提升格式变换,最后对频率域信号进行中高低频率信号分离,提取出水印信号的中低频信号作为嵌入内容,将宿主图像的中频信号作为嵌入位置,按照特定的嵌入过程进行嵌入。整个过程每一步都以水印信号的健壮性和不破坏宿主图像质量为基础

原则。

相比于目前基于 LSB 的空域算法以及基于 DCT 变换的水印算法,本算法在抗攻击方面具有较明显的优势。而与其它基于小波变换的算法相比较,由于其使用了和 JPEG2000 相同的频域变

换策略,使得在抗 JPEG2000 压缩方面具有更强的健壮性。

本算法虽然对单个图像的效果比较好,但是对于批量数据处理仍存在时间问题,相关的改进算法将在后续工作中进行介绍。

参考文献:

- [1] WANG C K, DOERR G, COX I J. Trellis coded modulation to improve dirty paper trellis watermarking [C]. *Security, Steganography and Watermarking of Multimedia Contents IX*, 2007: 65050G.
- [2] QING G, HONG S. Toward blind logo watermarking in JPEG-compressed images [C]. *Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies*, 2005: 1058-1062.
- [3] HUANG P S, CHIANG C S. Novel and robust saturation watermarking in wavelet domains for color images [J]. *Optical Engineering*, 2005, 44 (11): 117002. 1-117002. 15.
- [4] REDDY A A, CHATTERJI B N. A new wavelet based logo-watermarking scheme [J]. *Pattern Recognition Letters*. 2005, 26(7): 1019-1027.
- [5] CHOU C H, LIU K C. A perceptually optimized watermarking scheme for color visual information [C]. *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, 2006: 1-11.
- [6] LU L, NISHIHARA A. Data hiding for digital halftoned color images [C]. *TENCON 2006 IEEE Region 10 Conference*. 2006: 1-4.
- [7] 孙刘杰, 庄松林. 加密同轴全息数字水印[J]. *光学精密工程*, 2007, 15(1): 247-252.
SUN L J, ZHUANG S L. Digital watermarking of encrypted in-line holography [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(1): 247-252. (in Chinese)
- [8] 丁晋晶, 蒋铃鸽, 何晨. 一种针对 LSB 嵌入方式水印的改进的全盲检测方案[J]. *高技术通讯*, 2007, 17(7): 681-685.
DING J J, JINAG L G, HE CH. An improved method of detecting LSB steganography [J]. *Chinese High Technology Letters*, 2007, 17 (7): 681-685. (in Chinese)
- [9] DEL C F, GOMEZ J C. Fidelity and robustness analysis of image adaptive DWT based watermarking schemes [C]. *Proceedings of the Second International Conference on Signal Processing and Multimedia Applications*, 2007: 393-397.
- [10] 王沛, 姚恒, 李莉. 结合图像空间域和小波域特性的自适应盲水印算法[J]. *光学精密工程*, 2006, 14 (6): 1057-1062.
WANG P, YAO H, LI L. An adaptive digital watermarking algorithm combining spatial and DWT domain [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(6): 1057-1062. (in Chinese)
- [11] DIETL W, MEERWALD P, UHL A. Protection of wavelet-based watermarking systems using filter parametrization [J]. *Signal Process*, 2003, 83 (10): 2095-2116.
- [12] ZHANG X D, FENG J, LO K T. Image watermarking using tree-based spatial-frequency feature of wavelet transform [J]. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 2003, 14 (4): 474-491.
- [13] WANG S H, LIN Y P. Wavelet tree quantization for copyright protection watermarking [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2004, 13(2): 154-521.
- [14] 张旭, 张贵仓. 一种基于小波包分解的自适应数字水印算法[J]. *计算机辅助设计与图形学报*, 2007, 19(7): 931-934.
ZHANG X, ZHANG G C. An adaptive digital watermarking algorithm based on wavelet packets transform [J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2007, 19(7): 931-934. (in Chinese)
- [15] WOLFGANG R B, PODILCHUK C I, DELP E J. The effect of matching watermark and compression transforms in compressed color images [C]. *IEEE Conference on Image Processing*, 1998: 440-444.
- [16] CHOU C H, LIU K C. Performance analysis of color image watermarking schemes using perceptually redundant signal spaces [C]. *IEEE of Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, 2006: 651-654.
- [17] XIONG C Y, TIAN J W, LIU J. Efficient architectures for two-dimensional discrete wavelet

transform using lifting scheme[J]. *IEEE Transaction Image Processing*, 2007, 16(3):607-614.

- [18] LEEHAN J A, LERALLUT J F. JPEG2000 vs. full frame wavelet packet compression for smart card medical records[C]. *IEEE Conference on Engineering in Medicine and Biology Society*, 2006: 2597-2600.

- [19] DAUBECHIES I, TESCHKE G. Variational images restoration by means of wavelets: simultaneous decomposition, deblurring, and denoising [J].

Appl. Comput Harmon. Anal., 2005, 19(1): 1-16.

- [20] COX I J, DOERR G, FURON T. Watermarking is not cryptography [J]. *Digital Watermarking Proceedings*, 2006, 4283:1-15.

- [21] HARRAK H, HIEN T D, NAGATA Y, et al.. DCT watermarking optimization by genetic programming[J]. *Intelligent Information Processing and Web Mining*, 2007, 35:347-351.

作者简介:



樊亚春(1978—), 北京人, 博士研究生。2003年于西北大学获得硕士学位, 主要从事数字图像处理, 计算机图形学, 虚拟现实等方面的研究。E-mail: fan-yachun@hotmail.com



周明全(1954—), 男, 陕西西安人, 教授、博士生导师, 1988年于西北大学获得硕士学位, 现为教育部虚拟现实主要从事: 虚拟现实与三维可视化相关技术的研究。E-mail: mqzhou@bnu.edu.cn

通讯作者:



王醒策(1977—), 女, 北京人, 工学博士, 副教授。1999年、2002年、2005年于哈尔滨工程大学分别获得学士、硕士及博士学位, 主要从事图像处理, 医学可视化及智能优化算法等方面的研究。E-mail: wangxingce@bnu.edu.cn



刘新宇(1972—), 男, 北京人, 工学博士, 副研究员, 2002年于哈尔滨工业大学获得博士学位, 2004年中科院计算所博士后出站, 主要从事芯片设计及智能信息处理方面的研究。E-mail: liuxinyu@ict.ac.cn

●下期预告

染色体切割设备的并联宏动平台运动学传递性能

张典范¹, 高峰^{1, 2}

(1. 燕山大学机械工程学院, 河北秦皇岛 066004;

2. 上海交通大学振动、冲击、噪声国家重点实验室, 上海 200030)

用于染色体切割设备的新型 6-(P-2P-S) 并联宏动平台可实现微米级高精度定位, 并具有在初始正交位姿部分运动解耦和装配工艺性好等特点。为提高该并联宏动平台实际应用的理论基础, 对该并联宏动平台运动传递性及其在姿态空间的分布规律等问题进行了研究。首先, 基于其结构布局特点分析了该并联宏动平台的位置问题, 求得机构位置正反解。然后, 推导了运动学传递方程, 根据雅可比矩阵定义了速度传递性能评价指标。最后, 考虑其结构约束条件, 分析了速度传递性能评价指标在姿态空间内的分布规律。仿真结果表明, 越是靠近姿态空间的边界, K_v 和 K_ω 的值越大, 传递性能评价指标最大值随着初始姿态角增大而增大, $K_{v_{\max}}$ 变化范围为 0.970 9 ~ 1.179 1, $K_{\omega_{\max}}$ 变化范围为 8.586 5 ~ 10.978 3。根据设计需要综合考虑机构其它性能指标, 在姿态空间内选择了合适的运动学传递性能指标, 为该并联宏动平台在不同精密操作领域的应用提供理论基础。