

文章编号: 1005-0086(2001)06-0627-04

数字图像的光电处理对数字水印的影响*

孔祥维, 刘华健, 刘雨

(大连理工大学信息学院, 辽宁 大连 116023)

摘要: 本文研究了光电转换对数字水印的影响, 提出了可应用于光电转换的鲁棒性的数字水印算法和研究思路, 并给出了实验结果。

关键词: 数字水印; 光电转换; 数字图像

中图分类号: TN 911.73 **文献标识码:** A

Impact of Photoelectric Processing on Digital Watermarking

KONG Xiang-wei, LIU Hua-jian, LIU Yu

(School of Electronic and Information, Dalian Univ. of Tech, Dalian, 116023, China)

Abstract In this paper we discuss the traits of photoelectricity transform which impact on digital watermark and propose a robust digital watermark algorithm which can be applied to photoelectricity transform. A lot of experimental results are presented

Key words: digital watermark; photoelectricity transform; digital image

1 引言

当今,人们在方便地获取和交流信息的同时,迫切地需要以安全的方式存储和传输信息,因而信息的安全保护问题日益突出。数字水印是90年代信息安全领域中保护多媒体的一个崭新技术。它是在数字化的多媒体数据中用计算机嵌入隐蔽的标记,保持多媒体数据原有的特性并使人的感知系统察觉不出来;只有通过专用的检测器才能将隐藏的标记提取出来,被誉为数字时代的密写术。

这种在开放的网络环境下保护多媒体版权的新型技术,可确立数字产品的版权所有者、识别正版购买者或提供数字产品的其他附加信息,用于确认所有权和跟踪侵权行为等,具有十分广阔的应用前景,已成为国际上非常活跃的研究领域。

我们在分析打印扫描特性和大量实验的基础上,提出基于JND的图像复杂度感知模型(ICPM)来自动分析图像的区域,以此决定水印在图像中的嵌入强度和位置。而此模型具有针对打印扫描、有损压缩及缩放等处理比较稳健的特性。水印的加入和检测依据的是图像的统计特性,而非图像的局部特征。在图

像经过光电转换后,尽管其变换系数已经有了许多变化,例如原来的大小系数的顺序已经变化很大,但其统计特性却有律可循。

2 图像的扫描、打印的空域和频域特性

不论何种数字水印技术,水印的嵌入不应以原信号较大失真为前提;同时要求数字水印难以被破坏、删除或伪造,也就是说,它对一般信号处理、几何失真和噪声干扰等袭击都具有鲁棒性,而且不容易被人的视觉系统所察觉。

数字水印技术可以根据算法的作用域不同而分为:空间域水印和频率域水印。前者的主要缺点是容易受到有损压缩、量化及剪切等攻击而导致丢失,因此目前国际主要采用频率域水印。在频率域中,主要采用离散余弦变换(DCT)与离散小波变换(DWT)。采用DCT方法^[1]符合当前图像、视频压缩标准(如JPEG及MPEG1-2等);而DWT被新的图像、视频压缩标准(如JPEG2000和MPEG-4等)采用。因此,在DWT域内研究数字水印算法引起各方的关注^[2~4]。对于版权保护,良好的数字水印系统应该适应任何格式的图像文件。而以前的数字水印算法设计

* 收稿日期: 2000-11-13

的出发点多是集中于电子格式的图像文件,并没有考虑扫描和打印的问题。

扫描的图像从视觉感知角度看大体类似于原图像,但实质上在处理过程中已经有较大的失真。这在一般的图像处理应用中是可以容忍的;但在数字水印和图像的认证中,光电转换过程涉及到在历经光电转换、模拟数字转换后图像的数字水印仍需认证和检测的技术。如数码相机的作品以打印后的再加工形式传播;印刷作品的防伪防盗用和图像的重扫描再创作等。

光电转换中较为普遍的是打印和扫描。前者是数字图像向连续图像的转换^[5];后者是连续图像向数字图像的转换。这两个过程包含多次不均匀的采样和量化,造成的图像失真主要表现在灰度值、颜色和几何失真。从空域角度看,灰度值失真主要由于光强、对比度、不同的量化级及邻域像素的影响等;色彩失真主要色差和饱和度,这些影响是人眼可以感觉到的,并影响着重扫描图像的视觉效果;几何失真主要是仿射变换如旋转、缩放和剪切等引起的,这种操作对图像的视觉效果不产生失真,但对图像的频域系数影响较大。在一般的图像处理和图像编辑中,特别是在图像通过平板扫描仪输入时,图像是选择在长方形的窗口内,剪切和缩放是经常遇见的问题,而旋转可以通过现有的软件加以调整。从频域角度看,灰度值和色彩的失真的反映是图像的细节大部分没有丢失,即轮廓从整体角度仍较明显;但细微之处已经模糊化,频域的低、中及高频系数中,每个单独系数的相对值已经变化,并且在所有系数中的位置也改变。

3 打印扫描数字水印策略

所谓打印扫描数字水印是在历经打印扫描后在图像中隐藏的数字水印仍然可以检测出来的技术。通常数字水印的嵌入是通过改变时域的像素值或者频域的系数,在近年来的许多文献中已见到。一些学者提出的数字水印算法具有较好的鲁棒性,可以抵抗有损压缩、加噪、线性与非线性滤波器、剪切、缩放和旋转等,但对于图像的光电转换如打印扫描的研究甚少。我们实验了几种典型的数字水印算法,如cox等的基于扩频通信原理的算法,即将图像进行DCT变换后在大系数中嵌入水印信息和利用基于相似度的检测方法;DCT系数中的纹理分类方法和低频、中频及高频系数嵌入法;小波域中分层系数嵌入法等。这些算法在抵抗各种信号处理和几何攻击是具有各自特殊的性质。但对于图像的光电转换,例如经过常见的扫

描打印却失败了。究其原因在于大多文献中提出的算法针对的是单个像素或系数上的改变,当经过转换后,单个像素的灰度值或频域系数改变很大,可能出现数字水印的视觉不可见性降低,或者嵌入的水印成为不可检测,致使水印算法失败。

打印扫描图像水印的嵌入过程如图1所示。模拟图像经光电转换后存在计算机中,如扫描、数码相机拍摄等,对数字图像进行DWT后,应用ICPM搜寻适于加水印的区域,配合密钥,将数字水印嵌入到合适的小波系数中,然后经小波反变换后输出图像,也可以通过打印机输出已加水印的图像。水印的检测过程见图2。首先将图像转化为数字图像,进行DWT,通过相似度计算获得判决阈值,根据统计特性检测器和密钥提取出水印。

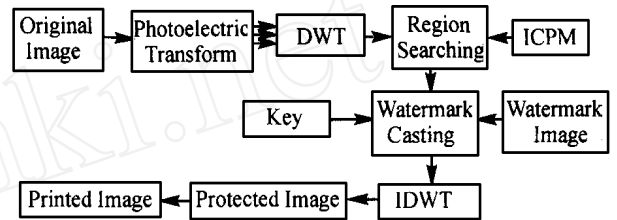


图1 水印的嵌入过程框图

Fig 1 The block diagram of the watermark casting

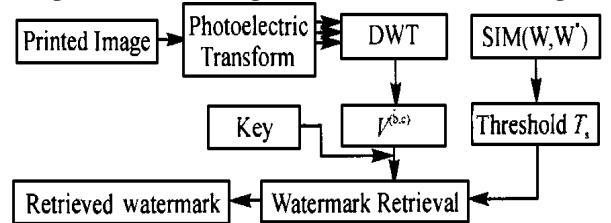


图2 水印的提取过程框图

Fig 2 The block diagram of watermark retrieval

我们在利用人眼视觉特性的基础上,提出了ICPM来对个体图像的不同部分的不同特性分析,从而找出最适合嵌入水印的区域。根据人眼的视觉特性,我们将ICPM定义为

$$M^{(b,c)} = \frac{\alpha^{(b,c)} \sum_{(x,y) \in S_A} |E(x,y)| / \sum_{(x,y) \in S_D} |E(x,y)|}{\beta^{b,c} \sum_{j=0}^{n/2^r} \sum_{i=0}^{n/2^r} ||E(x+i, y+j) - E(x,y)||}$$

其中 $E(x,y)$ 是图像在 (x,y) 处的分解系数值; r 是分解的级数; S_A 和 S_D 分别为小波分解中互不重叠的子带组成的子集; $\alpha^{(b,c)}$ 和 $\beta^{(b,c)}$ 为控制参数。根据得到的 $M^{(b,c)}$ 的值,选出 N_w 个子块作为适于加水印的区域。

图像嵌入数字水印的策略为:



1) 针对数字图像, 利用本文提出的 ICPM 搜索水印嵌入的合适区域 $B = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}$ 。

2) 在搜索到的合适区域 B_i 中依据一定的准则进行子集的划分 S_{A_i} 和 S_{D_j} , 其中 i, j 为正整数。准则的选取以区分对水印嵌入的可见性和鲁棒性影响大的子空间为准, 如直流分量、低频等。

3) 以每块中子集如 S_{A_i} 的平均能量作为水印的代表值之一置换本块中的小波系数值。

4) 经过小波反变换生成加有水印的图像。

5) 通过打印机输出图像。

扫描图像的水印检测策略为:

1) 通过扫描仪将模拟图像转换成一定窗口的数字图像, 可以是原图像的不等比例缩放或剪切图像。

2) 应用 ICPM 选择合适的检测块, 并分成子集 S_{A_i} 和 S_{D_j} 。

3) 计算每块的子区 S_{A_i} 和 S_{D_j} 的平均能量的统计方差。

4) 通过相似性准则计算决策阈值 T_s , 根据统计方差与决策阈值的大小提取嵌入的水印。

5) 显示可视化的嵌入水印。

4 实验结果

我们利用数字水印策略进行了一系列实验。实验采用了 512×512 的彩色 Lena 图像对算法进行评测。水印图像被选择为 40×20 的二值位图。加入水印后, 受保护图像的峰值信噪比 (PSNR) 大于 40 dB, 在没有攻击的情况下, 通过网络传输, 水印可以被正确的检测出来, 并且图像质量没有任何可觉察到的降低, 也就是说, 所加入的水印在感知上是完全不可见的。

实验 1, 扫描打印光电转换, 属 A/D 和 D/A 变换中最常见的。对图像的质量和所加水印都将产生较大的影响, 特别是对加入的水印图像, A/D 变换的攻击将是非常严重的, 如图 3(b) 所示。通过打印扫描后得到的图像 PSNR 下降到了只有 26.11, 图像的亮度、色调等也产生了较大的变化。现在通常的水印算法, 在经过 A/D 变换后, 往往使水印无法正确的提取出来。我们也对本文提出的算法进行了扫描打印的实验。先将加入水印的图像用 Epson Stylus Photo 710 彩色喷墨打印机以 360 dpi 的分辨率打印出来, 然后再用 Epson Perfection 1200 Photo 扫描仪输入计算机, 实验结果表明水印图像仍然可以成功地提取出来, 误码率仅为 2.875 %。

实验 2, 有损压缩。JPEG 压缩是当前较为常用的基于 DCT 变换的压缩格式。一般默认的 JPEG 压缩

的品质因数为 75 %。实验中我们对加入水印的图像分别以品质因数 65 % 和 50 % 进行了 JPEG 压缩, 提取的水印图像的误码率为 0.75 % 和 3.12 %, 水印图像的视觉效果保持良好。

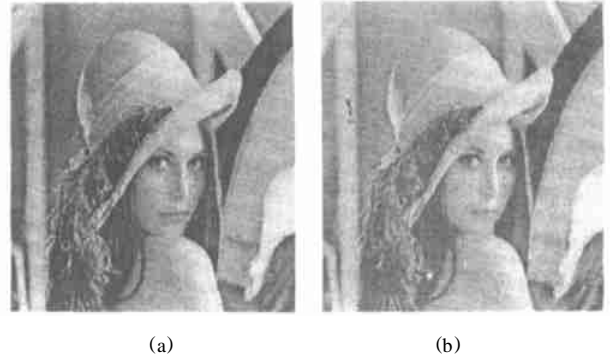


图 3 (a) 原始彩色 Lena 图像 (b) 加水印后经打印扫描得到的 Lena 图像 (PSNR= 26.11)

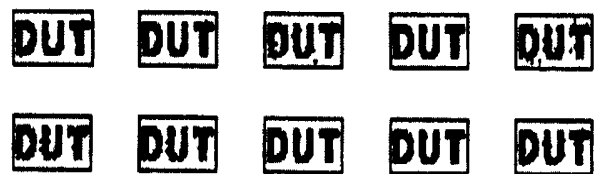
Fig 3 (a) Original color Lena image
(b) Watermarked Lena image after print and scan process

实验 3, JPEG2000 压缩。它是基于小波变换基础上的。我们对加入水印的图像分别在品质因数为 95 % 和 90 % 下进行 JPEG2000 压缩, 提取的水印图像的误码率仅为 0.25 % 和 3.50 %, 视觉效果保持良好。

实验 4, 缩放。数字图像尺寸比例缩放的图像版权同样需要进行保护。这就要求水印算法对图像的尺寸缩放也要具有鲁棒性。我们分别进行了宽高等比例缩放和不等比例缩放的实验。实验证明, 本文提出的算法都保证了一定的鲁棒性。

实验 5, 加噪。在实验中对加入水印的图像加入 10 % 的均匀噪声, 水印图像仍然可以正确地提取出来, 误码率仅为 1.00 %。

从受到各种攻击的加入水印的图像中提取得到的水印如图 4 所示, 具体的实验结果见表 1。



(a) 10 % uniform noise; (b) JPEG (65 %);
(c) JPEG (50 %); (d) JPEG 2000 (95 %);
(e) JPEG 2000 (90 %); (f) 0.5×0.5 rescaling;
(g) 0.5×0.6 rescaling; (h) 2×2 rescaling;
(i) 2×3 rescaling; (j) Print and scan

图 4 加入水印的图像受到各种攻击后提取出的水印

Fig 4 Extracted watermarks after various attacks

表 1 水印抵抗各种攻击的实验结果

Tab 1 Experimental results after attacks

Attacks	10 % uniform noise	JPEG (65 %)	JPEG (50 %)	JPEG 2000 (95 %)	JPEG 2000 (90 %)
Error ratio/(%)	1.000	0.750	3.125	0.250	3.500
Attacks	Rescaling (0.5 × 0.5)	Rescaling (0.5 × 0.6)	Rescaling (2 × 2)	Rescaling (2 × 3)	Print and scan
Error ratio/(%)	2.875	2.875	0.250	0.375	2.875

5 结论

本文研究了光电处理对数字水印的影响,提出了新的基于图像内容的彩色图像自适应水印算法。通过提出的 ICPM 模型,分析整幅图像中不同部分的特性,找到了最适于加入水印的区域,利用各个不同区域的小波系数的统计分布特性来加入和提取水印。文中还给出了我们所做的实验,结果表明本文提出的算法对噪声、JPEG 压缩、JPEG2000 压缩及扫描打印变换等各种攻击都具有较强的鲁棒性。

参 考 文 献:

[1] IJ Cox, Joe Kilian, Tom Leighton, et al Secure spread

spectrum watermarking for multimedia [J] *IEEE Trans on Image Processing*, 1997, 6(12): 1673-1687.

[2] Xiang-Gen Xia, Charles G Boncelet, Gonzalo R Arce. A multiresolution watermark for digital images [A]. *Proc of the ICIP '97* [C]. Santa Barbara, California, USA, 1997. 548-550

[3] D Kundur, D Hatzinakos. A robust digital image watermarking method using wavelet-based fusion [A]. *Proc of the ICIP '97*, [C]. Santa Barbara, California, USA, 1997, 544-547.

[4] Po-Chyi Su, C-C Jay Kuo, Houngh-Jyh Mike Wang. Blind digital watermarking for cartoon and map images [A]. *IS & T / SPIE Conference on Security and Watermarking of Multimedia Contents* [C]. San Jose, California, January 1999: 296-305

[5] Thrasyvoulos N Pappas. Printer models and color halftoning [A]. *Proceedings of, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing* [C]. 1993, 5: 333-336

作者简介:

孔祥维 (1963-), 副教授, IEEE 会员, 中国电子学会高级会员. 主要从事图像编码、数字水印、模式识别、信号处理等方面的研究. 发表论文 30 余篇