

一种用于印刷图像防伪的水印算法设计与实现

代小红¹, 王光利²

(1. 重庆工商大学, 重庆 400067; 2. 重庆邮电大学, 重庆 400065)

摘要: 阐述了基于 DCT 变换域的数字水印理论和算法, 并根据相关理论模型, 提出了一种在离散傅里叶变换中实现的、可用于印刷品防伪的数字水印嵌入算法。研究表明与传统的 LSB 算法和 Patchwork 算法相比, 该算法有较好的抗攻击能力。给出了系统的水印嵌入算法和水印提取流程设计的过程。实践证明, 基于 DCT 变换域的数字水印算法能确保水印的不可见性, 并保持较好的鲁棒性, 实现了印刷图像载体数字版权的保护, 并可检测出用此算法嵌入印刷图像中的不可见标记。最后通过实验验证了此算法的可行性、可靠性和有效性, 为印刷品版权保护提供参考和借鉴。

关键词: 印刷图像; 数字水印; 离散余弦变换; 算法设计

中图分类号: TS853+.6; TP390 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)15-0118-05

Design and Realization of an Anti-counterfeiting Watermark Algorithm for Printed Image

DAI Xiao-hong¹, WANG Guang-li²

(1. Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China; 2. Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: The theory and algorithm of digital watermarking based on DCT transform domain was introduced. A kind of digital watermarking imbedded algorithm realized in discrete Fourier Transform was proposed based on the related theoretical models, which could be used anti-counterfeiting of printed materials. Study results showed that this algorithm has better anti-attack ability than traditional LSB algorithm and Patchwork algorithm. Systematic watermark imbedded algorithm and watermark extraction procedure design were given. Practice proved that digital watermark algorithm based on DCT transform domain can ensure the invisibility of the watermark and the good robustness, which can realize digital copyright protection for printed image carriers and can detect the invisible mark imbedded in printed images by this method. The experiments verified the feasibility, reliability and effectiveness of this method. The purpose was to provide reference for copyright protection of printed materials.

Key words: printed image; digital watermarking; discrete cosine transform; algorithm design

随着计算机网络技术和数字技术的迅速发展, 信息的数字化传播和网络获取变得越来越方便, 但是由于数字媒体具有易存储、易复制等特点, 使大量的数字媒体在以合法形式进行传播的同时, 经常遭受盗版者以低廉的成本非法拷贝、复制和传播, 从而导致作品的版权、完整性、有效性得不到保证^[1-6]。为了保护合法人的知识产权, 有效地防止数据传输过程中侵权行为的发生, 作为传统加密技术的补充, 数字水印

技术应运而生。在网络高度发达的今天, 一些数字信息最终要以纸质媒介为载体, 采用传统的印刷方式进行传播。印刷品防伪技术为有效地保护知识产权提供了保障^[7-8]。

数字水印是信息隐藏技术的一个重要研究方向, 是将作品的重要信息嵌入到图像、语音、视频等各种数字媒体中, 以实现知识产权的保护等, 用其来证明原始作者对作品所有权的重要依据, 并作为作品鉴

收稿日期: 2011-05-20

基金项目: 重庆市教委重点研究项目资助(112081)

作者简介: 代小红(1969—), 男, 重庆人, 硕士, 重庆工商大学副研究员, 主要从事图像处理、模式识别和系统控制研究。

定、起诉非法侵权行为的证据,同时通过对水印的分析,验证数字信息的完整性,从而实现对知识产权的保护和数字媒体的防伪。嵌入到数字媒体中的信息主要有:版权信息、序列号、公司标志等。所有嵌入到数字媒体中的信息不影响原始媒体的使用,不易被人的知觉系统识别且可以通过一定的方法能够恢复,提取出原来嵌入的信息。这种技术主要是根据人的视觉系统(Human Visual System, HVS)分辨率受到一定的限制,当原始图像中叠加信号的幅度低于 HVS 的对比度门限, HVS 就无法感觉到叠加信号的存在^[9-11]。因此,对原始图像做一些改动,如添加水印,就可以实现在原始作品中嵌入一些隐藏信息。

1 国内外数字水印技术现状

目前常见的水印技术方法主要有典型水印算法、彩色图像水印算法、半色调水印技术方法。水印算法按水印嵌入域的不同可分为空间域法和频域法水印算法。空间域算法指水印直接嵌入到图像不重要位置的像素值上,像素值的细微改变对视觉效果影响不大,具有算法简单、速度快、容易实现的优点,缺点是无法经受常规的数字信号处理。

1.1 国外相关研究

在典型空间域水印算法的研究中, R. G. VANSCHYND 等人^[12]提出了最低有效位方法(LSB),此算法直接将水印嵌入到像素值最低位上,具有算法较简单、水印容量大等优点,但是嵌入到图像中水印较脆弱,经受不了常见的数字信号处理。W. BENDER 等人^[13]提出了 PATCHWORK 方法和纹理映射编码方法, PATCHWORK 方法通过调整一对像素点亮度变化来进行水印的嵌入,对于有损压缩编码、滤波、扭转等操作具有较好的鲁棒性;纹理映射编码法对于滤波、扭转和压缩等操作具有抵抗能力,但是此算法仅适于具有大量任意纹理区域的图像,并且不能自动完成。PITAS 等人^[14]提出了空间域盲水印算法,此算法是基于统计检测理论的方法,算法简单,对再抽样操作具有较好的稳健性,可抵抗 JPEG 压缩,但是水印仅仅为随机序列。

彩色图像水印算法是建立在灰度图像水印算法基础上的,主要利用图像不同颜色空间不同的分量嵌入水印。在彩色图像水印算法的研究中, M. KUTTER 等人^[15]提出了在 RGB 颜色空间进行水印处理,

此算法的主要特点是将水印嵌入到彩色图像的蓝色通道 B 中,抵抗滤波、几何变换等攻击,水印的提取不再需要原始图像; D. J. FLEET 等人^[16]提出了在 S-CIELab 颜色空间进行水印处理,此算法是将正弦水印信息隐藏到 S-CIELab 颜色空间对立色 Y-B 分量中,水印的提取不再需要原始图像并能抗打印扫描处理; A. PIVA 等人^[17]也提出了在 RGB 颜色空间进行水印处理,在此算法中实现了 RGB 空间各个分量上的水印处理,能够抵抗大多数攻击和图像处理,但是嵌入的水印仅为随机序列。

1.2 国内相关研究

戴跃伟等人^[18]研究了一种新的鲁棒图像水印算法,它具有一定的抗旋转和抗剪切性能,可以较好地用于印刷证件的防伪方案;梁华庆等人^[19]提出了一种基于数字水印的证件防伪技术方案,算法采用强度自适应的 DCT 系数局部调整法,将水印序列重复多次嵌入到中频系数中;张静等人^[20]给出了一种能抗打印扫描过程的空间域灰度图像数字水印算法,经打印、复制及扫描处理后能有效地提取出水印;宋玉杰等人^[21]较早地将数字水印技术应用于印刷防伪,提出了一种能抗打印扫描过程的彩色图像数字水印防伪算法,结果可应用于印刷品的防伪; C. Y. Lin 等人^[22]提出了一种基于 FMT 变换的彩色图像数字水印算法,能抵抗打印扫描、剪切及缩放处理;刘昕等提出了一种基于嵌入式小波编码的数字水印算法,算法通过对印刷图文进行特征提取,将水印信息自适应地加入到原始图文中,试验结果表明了算法的可行性和有效性。牛少影等人提出了一种基于 DCT 域半色调灰度图像的盲水印算法,可应用于普通证件防伪。Y. J. SONG 等人^[23]提出了在 CIELab 颜色空间进行水印处理,该算法采用 CIELab 颜色空间,在 DCT 域里进行水印处理,实现了普通证件的印刷防伪功能,但是其水印只是字符序列。

当前数字水印技术在数字作品版权保护应用方面的研究已经比较成熟,但利用数字水印技术来解决票证、印刷图文版权保护及防伪的技术还很少,尤其是在彩色图文产品的应用方面更少,因此本研究将有助于防伪技术的开发,具有重要的现实意义。

2 基于 DCT 域数字图像水印的算法

DCT 域又称离散余弦变换,是采用傅里叶变换

的对称性,将图像变换为偶函数形式,然后进行二维离散傅里叶变换。DCT 能将图像表示为不同幅值和频率的正弦值之和,它具有压缩比高、误码率小、信息集中能力好等优点。基于 DCT 域的水印嵌入算法与单空间域的水印算法相比,具有较强的鲁棒性,能够抵抗低通滤波、加亮、对比度调整和模糊操作等图像处理。数字图像处理中一般采用二维 DCT 域,对于一个 $M \times N$ 的图像,其二维离散余弦变换(DCT)公式定义为:

$$P(x, y) = \alpha(x)\alpha(y) \sum_{m=0}^{m-1} \sum_{n=0}^{n-1} A(m, n) \cdot \cos \frac{(2m+1)\pi x}{2m} \cos \frac{(2n+1)\pi y}{2n} \quad (1)$$

式中, $0 \leq x \leq m-1, 0 \leq y \leq n-1$ 。当 $x=0$ 时, $\alpha(x) = 1/\sqrt{m}$; 当 $0 < x \leq m-1$ 时, $\alpha(x) = \sqrt{2}/\sqrt{m}$ 。当 $y=0$ 时, $\alpha(y) = 1/\sqrt{n}$; 当 $0 < y \leq n-1$ 时, $\alpha(y) = \sqrt{2}/\sqrt{n}$; $P(x, y)$ 为 DCT 系数。DCT 是可逆变换,其逆变换作如下定义:

$$Q(m, n) = \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} \alpha(x)\alpha(y)B(x, y) \cdot \cos \frac{(2m+1)\pi x}{2m} \cos \frac{(2n+1)\pi y}{2n} \quad (2)$$

如果输入的是彩色图像,要对此图像进行预处理,预处理后去掉彩色,得到灰度化图像。图像经过二维 DCT 变换后,变换系数相关度不高,经过反变换后再重构图像,这样信道误差和量化误差将分散到图像中的各个像素中去,避免在系统处理中产生误差累积。该算法是先将图像分成 8×8 不同的子块,经 DCT 变换后选取某些频率块,将水印信号嵌入到由密钥控制的 DCT 系数中,分别对每一子块进行 DCT 变换,再嵌入水印。

2.1 水印的嵌入

原始图像取大小为 $M \times N$ 的灰度图像 G , 水印图像取大小为 $M' \times N'$ 的灰度图像 W , 将原始图像 G 分成互不重叠的 8×8 的子块。 M 和 N 分别是 M' 和 N' 的偶数倍。把水印图像 W 加载到原始图像 G 中, 算法的流程如下:

1) 图像分块。首先将原始图像 G 分解成 $(M/8 \times N/8)$ 个 8×8 大小的子块, 以 $SG_{m,n}$ 表示; 其次再将水印图像 W 分解成 $(M'/8 \times N'/8)$ 个 $\frac{8M'}{M} \times \frac{8N'}{N}$ 大小的子块, 以 $SW_{m,n}$ 表示。其中 $1 \leq m \leq M/8, 1 \leq n \leq N/$

8。

2) DCT 变换。对每一个子块 $SG_{m,n}$ 进行 DCT 变换, 如下:

$$DSG'_{m,n} = \text{DCT}(SG_{m,n})$$

3) 对每一个 $DSG'_{m,n}$ 和 $SW_{m,n}$ 加载水印, U_i 表示从 $DSG'_{m,n}$ 中频选出的加载的位置, $1 \leq i \leq \left(\frac{8M'}{M} \times \frac{8N'}{N}\right)$; V_i 表示 $SW_{m,n}$ 位置坐标。作如下变换:

$$DSG''_{m,n}(U_i) = \alpha \times SG_{m,n}(V_i)$$

其中: α 为加权系数, 以 $DSG''_{m,n}(U_i)$ 来表示 $DSG'_{m,n}(U_i)$ 图像水印加载过后的图像 $DSG''_{m,n}$ 。

4) 逆 DCT 变换。水印加载过后的 $DSG''_{m,n}$ 每一个图像进行逆 DCT 变换, 变换方式如下:

$$\text{IDSG}_{m,n} = \text{IDCT}(DSG''_{m,n})$$

再将得到的各子块 $\text{IDSG}_{m,n}$ 合并, 合并后就得到了加载水印的图像 G' 。

2.2 水印的提取

通过上述方法实现了图像水印的嵌入, 加载水印后的图像 TG' , 在此要将加载的水印从图像 TG' 提取出来, 在提取时其算法是图像水印嵌入的逆过程, 水印提取的过程如下。

1) 图像分块。将图像 TG' 分解成 $(M/8 \times N/8)$ 个 8×8 大小的子块 $STG_{m,n}$, 其中 $1 \leq m \leq M/8, 1 \leq n \leq N/8$ 。

2) DCT 变换。对分块后得到的子块 $STG_{m,n}$ 进行二维的 DCT 变换, 变换表达式如下:

$$STG'_{m,n} = \text{DCT}(STG_{m,n})$$

3) 对每一个 $STG'_{m,n}$ 进行数据提取, 经过下式变换后得到图像 $SW_{m,n}$, 变换表达式如下:

$$SW_{m,n}(V_i) = 1/\alpha \times STG'_{m,n}(U_i)$$

4) 将上述得到的图像 $SW_{m,n}$ 进行合并, 得到合并后的整体图像。在此将提取的水印序列转化为点阵图像, 算法过程见图 1。

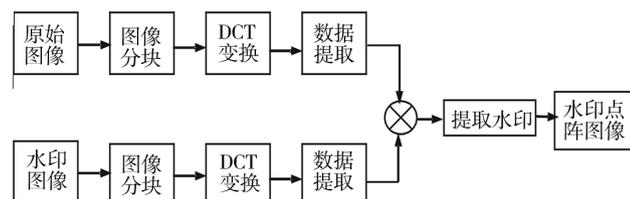


图 1 水印提取算法流程

Fig. 1 Procedure for watermark extraction algorithm

3 实验结果与分析

3.1 算法的抗几何失真

实验以某印刷品为实验对象,采用原始图像为 512×512 像素的位图进行仿真分析,图像的分辨率为 72×72 像素,见图 2。利用上述提出的水印嵌入算



图 2 原始图像
Fig. 2 Primitive image

法嵌入水印图像(见图 3),将此水印图像嵌入原图即

重庆
工商
大学

图 3 水印图像
Fig. 3 Watermark image

图 2 中,嵌入水印后的图像见图 4。利用 StirMark



图 4 嵌入水印后的图像
Fig. 4 Watermark imbedded image

Benchmark 软件对嵌入水印的图像进行攻击,在反复测试中为了检测此算法抗旋转攻击的能力,不对图像进行旋转矫正,再使用检测算法来对水印进行检测。另外,实验时要尽量减少对图像的几何变化,这些变化包括:平移、裁剪、缩放、旋转等操作。图像平移是在 X 轴、Y 轴方向上,平移范围在几十个像素内进行,

提取水印图像

重庆
工商
大学

图 5 提取出的水印图像
Fig. 5 Extracted watermark image

旋转角度变换在 -2° 到 $+2^\circ$ 范围内,裁剪图像时其剩余部分要大于原图像的 85%。通过实验表明本算法能够适应上述各情况下对抗几何失真的各种要求,图像中嵌入水印后遭受几何的失真很小,这对印刷品防伪有着较广泛的应用。

3.2 算法的有效性测试

算法的有效性测试是将印刷品书籍进行数字化扫描,再用本算法对扫描和得到的图像嵌入水印,进而有效地保护了知识产权,充分说明了该算法用于印刷图书的数字化版权保护的有效性。在有效性测试中,主要对系统的鲁棒性、不可见性和水印嵌入的实效性等方面进行了测试。

1) 稳健性。对该算法的抗攻击性进行了实验室模拟分析,对 JPEG 压缩攻击、锐化、污损、涂改、格式变换和剪切攻击、滤波攻击进行了比较详细的实验验证,实验表明该系统算法具有较强的鲁棒性,为印刷复制的数字图像的所有权识别提供了一种新方法。

2) 不可见性。在反复试验中调整变换系统中的系数值,其峰值信噪比(PSNR)为 40.47 dB,信噪比(SNR)为 35.23 dB,表明系统的算法具有较好的不可见性。

3) 实效性。图像在没有任何攻击的条件下,提取出的水印图像其归一化相似度为 1,表明此算法能够完全地提取出原始图像中的水印。

4 结语

基于 DCT 域的数字图像水印算法具有简便、快捷和变换域较强的鲁棒性、不可见性的特点,利用本算法加入水印后的图像,在不影响原图像质量的条件下实现了对印刷品的版权保护,并且在原图像中仅依赖于人的视觉系统是无法识别的,该算法充分地保持了载体图片的原貌。从被攻击后的图像中,利用此算法也能顺利恢复图像中嵌入的水印,并且能够识别原

水印,大大提高了嵌入水印的容量,因此,通过图像块的离散余弦变换可以实现数字图像水印的嵌入和提取,并且有良好的抗攻击能力。

参考文献:

- [1] 陈伟,刘淑英. 数字水印技术综述[J]. 计算机与现代化, 2009(9):96-98.
- [2] COX I J, KILLIAN J, LEIGHTON T. Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia [J]. IEEE Trans on Image Processing, 1997(12):1673-1687.
- [3] 姚敏. 数字图像处理[M]. 北京:机械工业出版社, 2006.
- [4] 姚磊,王冰. 一种基于 DCT 中频的数字水印算法[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(1):192-194.
- [5] 刘俊景,蒋华. 一种基于离散余弦变换与奇异值分解的数字水印算法[J]. 微电子学与计算机, 2007, 24(10):78-82.
- [6] SOLACHIDIS V, PITSA I. Circularly Symmetric Watermark Embedding in 2-D Domain[J]. Transactions on Image Processing, 2001, 10(11):1741-1753.
- [7] SCHARINGER J. Devices to Preserve Watermark Security in Imageprinting and Scanning[C]. Computer Aided Systems Theory-EU-ROCAST 2003. Berlin: Springer Verlag, 2003:660-669.
- [8] 李黎,张明敏,潘志庚. 一种抗几何变换的图像盲水印算法[J]. 浙江大学学报:工学版, 2004, 38(2):141-144.
- [9] 林睿. 共焦扫描成像系统中串口通信的 C++ 实现[J]. 重庆工商大学学报:自然科学版, 2011, 28(2):168-171.
- [10] 代小红. 基于图像模式识别的数字图书资料修复及应用[J]. 图书情报工作, 2009, 53(3):111-114.
- [11] 李学伟. 基于图像处理和识别技术的彩色印品质量检测系统研究[D]. 淄博:山东理工大学, 2006.
- [12] SCHYNDEL R, TIRKEL A, OSBORNE C. A Digital Watermark[J]. In: Int Cont on Image Processing, 1994 (2):86-90.
- [13] BENDER W, GRUBL D, MORIMOTO N. Techniques for Data Hiding[C]. IBM System Journal, 1996:313-336.
- [14] PITSA I. A Method for Signature Casting on Digital Images[J]. IEEE Intel National Conference on Image Processing, 1996(3):215-218.
- [15] KUTTER M, JORDAN F, BOSSEN F. Digital Signature of Color Images Using Amplitude Modulation[C]. In Proc Spie Storage and Retrieval for Image and Video Databases. San Jose, Alifornia, Volume 3022. 1997:518-526.
- [16] FLEET D, HEEGER D. Embedding Invisible Information in Color Images[C]. Proc of ICIP97, Santa Barbara, 1997:532-535.
- [17] PIVA A, BARNI M, BARTOLINI F, et al. Exploiting the Cross-correlation of RGB-channels for Robust Watermarking of Color Images[C]. Proc of IEEE International Conference on Image Processing ICIP'99, 1999, 1(10):306-310.
- [18] 戴跃伟,施燕,王执钜. 一种用于证件防伪的鲁棒图像水印算法[J]. 机器人技术与应用, 2002(6):41-46.
- [19] 梁华庆,钮心忻,杨义先. 基于数字水印的证件防伪技术信号处理[J]. 机器人技术, 2004:143-146.
- [20] 张静,张春田. 能抗打印-扫描过程的数字图像水印算法[C]. 第三届信息隐藏学术会议论文集, 西安, 2001:151-157.
- [21] 宋王杰,刘瑞祯,谭铁牛,等. 数字水印技术在印刷品防伪中的应用[J]. 中国图像图形学报, 2001, 6(5):450-454.
- [22] LIN C Y. Public Watermarking Surviving General Scaling and Cropping: An Application For Print-and-scan Proecess[C]. In: Multimedia and Security WorkshoP at ACM Multimedia 99, Orlando, 1999:102-106.
- [23] SONG Y J, LIU R Z, TAN T N. Digital Watermarking for Forgery Detection in Printed Materials[C]. Proc of the Second IEEE Pacific-Rim Conference on Multimedia, Beijing, 2001:403-410.

(上接第 109 页)

- [5] DYANG D X, GAMAL A E, et al. A640X512 CMOS Inlage Sensor with Ultra wide Dynamic Range Floating-Point Pixel-Level ADC[J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 1999, 34(12):1821-1834.
- [6] WARD G J. The Radiance Lighting Simulation and Rendering System[C]. In Proceedings of SIGGRAPH 94, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, 1994:459-472.
- [7] DEBEVEC P E, MALIK J. Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs[C]. In Proceedings of SIGGRAPH 97, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, 1997:369-378.
- [8] 杨丹丹,刘真,朱明. Photoshop CS3 中 HDR 图像的阶调映射算法的评价研究[J]. 包装工程, 2010, 31(3):101-104.