

文章编号: 1009 - 9042( 2006) 03 - 0025 - 05

# 基于 Matlab 的自适应图像数字水印

贾厚林

(无锡机电高等职业技术学校, 江苏 无锡 214028)

**摘 要:** 随着信息时代的到来, 特别是 Internet 的普及, 使得图片、音乐、电影和电视节目等音像产品正向着全数字化制作、存储和传播的方向发展。计算机技术的提高, 使得数字信息的复制变得越来越简单, 这一方面促进了社会的进步和发展, 另一方面信息的安全保护问题日益突出, 如何在数字作品中加入版权信息, 保护产品著作权人的权益是目前急需解决的问题, 数字水印技术就是为满足这些多元化的需求而提出的。

**关键词:** 小波变换; 数字水印; 自适应; Matlab

**中图分类号:** TP271<sup>+</sup>. 82      **文献标识码:** A

## Adaptive image digital watermark research based on Matlab in wavelet transform fields

JIA Hou-lin

(Wuxi Machine Polytechnic, Wuxi Jiangsu 214028 China)

**Abstract** With the arrival of information age, especially the popularization of Internet, it is possible to make picture, music, film, TV program and the audio-video products etc. develop towards the direction of digitization production, store and transmission. Because of the improvement of computer technology, the duplication of the digital message is becoming simpler. On one hand, it has promoted the progress and development of the society; on the other hand, the problem of information safe protection is pop out day by day. How to join copyright information in the digital works and protect the rights of the authors are the problems badly in need of solution. The digital watermark technology was put forward for solving these plural demands.

**Key words** wavelet transform; digital watermark; adaptive; Matlab

### 1 引言

密码学的加解密技术是保护数字产品的一种方法, 即将文件加密成密文, 使非法用户不能解读。它

收稿日期: 2005 - 11 - 15  
作者简介: 贾厚林 ( 1969 - ), 男, 无锡机电高等职业技术学校学生工作处主任, 讲师。

能够保护数字产品安全传输,并可作为存取控制和征收费用的手段,但随着计算机处理能力的快速增强,这种通过不断增加密钥长度来提高系统密级的方法变得越来越不安全,它不能保证数字产品解密后的盗版问题。另一方面,多媒体技术的广泛应用,需要进行加密、认证和版权保护的声像数据也越来越多。数字化的声像数据从本质上说就是数字信号,如果对这类数据也采用密码加密方式,则其本身的信号属性就被忽略了。作为传统加密系统的有效补充,从 1993 年 Caronni 正式提出数字水印到现在的短短十几年里,无论是在国内还是在对外对数字水印的研究都引起了人们极大的关注。目前,用于版权保护的数字水印技术已经进入了初步实用化阶段,IBM 公司在其“数字图书馆”软件中就提供了数字水印功能,Adobe 公司也在其著名的 Photoshop 软件中集成了 Diginarc 公司的数字水印插件。然而实事求是地说,当前市场上的数字水印产品在技术上还不成熟,很容易被破坏或破解,应用也处于初级阶段。在我国,知识产权问题是一个敏感的话题,只有深入开展数字水印技术的研究,尽快制定我国的版权保护水印标准,才能使我们在未来可能的国际知识产权纠纷中取得主动权。

## 2 图像数字水印的定义

数字水印技术的基本思想源于古代的密写术。图像数字水印技术是利用数字图像中普遍存在的冗余数据与随机性,用信号处理的方法在数字化的图像中嵌入隐蔽的标记,从而起到保护数字图像版权或者完整性的一种技术。这种标记是不可见的,只有通过专用的检测器或阅读器才能提取。一个有效的数字水印系统至少应具备三个最基本特性:(1)隐蔽性:在数字图像作品中嵌入数字水印不会引起图像明显的降质,数字水印的图像和原始图像对人的感觉器官的刺激应该是无差别或差别很小,主观感觉变化微小并且不易被察觉。(2)隐藏位置的安全性:水印信息隐藏于数据图像而非文件头中,文件格式的变换不应导致水印数据的丢失。(3)鲁棒性:所谓鲁棒性是指在经历多种无意或有意的信号处理过程后,数字水印仍能保持完整性或仍能被准确鉴别。可能的信号处理过程包括信道噪声、滤波、数模与模数转换、重采样、剪切、位移、尺度变化以及 JPEG 压缩等。

隐蔽性和鲁棒性两个基本特性是相互矛盾的,一般来说,嵌入的数字水印信号越强,数字水印的隐蔽性就越差,但鲁棒性好;嵌入的数字水印信号越弱,数字水印的鲁棒性较差,但隐蔽性较好,所以在图像中嵌入数字水印时必须权衡考虑这两个特性,应该在满足隐蔽性的前提条件下,尽可能提高数字水印的鲁棒性。

## 3 小波变换域数字图像水印实现的方法

### 3.1 小波变换域数字水印的嵌入和提取(检测)的基本原理

小波变换域数字水印的实现分为数字水印的嵌入、提取(检测)两部分,其原理可以用图 1 和图 2 来表示。

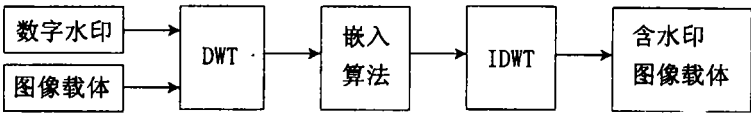


图 1 小波变换域数字图像水印的嵌入

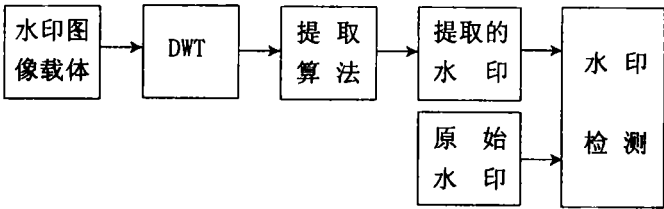


图 2 小波变换域数字水印的提取(检测)

从图 1 与 2中可以清楚地看到,小波数字水印的嵌入和检测(提取)都是在小波域中进行的。在此过程中,小波的类型、数字水印的选取、数字水印嵌入的强度以及数字水印嵌入的位置都会影响到数字水印系统的性能,包括数字水印的鲁棒性和隐蔽性。

3.2 基于小波变换的图像自适应水印算法

目前,关于在小波变换域中对数字图像进行数字水印嵌入方法的介绍很多,主要可以分为空间域数字水印和变换域数字水印两大类。空域法通过直接改变图像某些像素的灰度值来嵌入水印,如 LSB 扩展频谱等;而变换域方法先把图像做某种变换,例如 DCT、DWT,然后通过改变某些变换系数嵌入水印。随着 JPEG 2000和 MPEG - 4标准的建立,目前大量的数字水印技术研究集中在 DWT域,因为在 DWT域嵌入水印可以提高水印对最新图像压缩处理的攻击。本处在小波变换域内采用数字水印图像能量与载体图像小波分解子块能量相等的替换原则,选择适当的位置嵌入数字水印图像。

基于小波变换的图像自适应水印算法的基本思想是:数字水印图像嵌入载体图像的过程是一个数字水印图像在载体图像中能量扩散的过程,如果扩散的能量过大,被嵌入水印的载体图像中水印图像不可见性变差;如果扩散能量过小,被嵌入水印的载体图像中水印图像鲁棒性变差。所以数字水印图像嵌入载体图像中的能量要与载体图像小波分解子块能量相等。

设等量自适应嵌入系数为  $\alpha$ , 自适应嵌入系数计算过程如下:  
设数字水印图像为  $X_{sy}(i, j)$ , 其中  $(i=0 \sim M-1, j=0 \sim N-1)$ ,  $M, N$  分别为数字水印图像的宽与高,被嵌入数字水印图像为  $\alpha \times X_{sy}(i, j)$ , 则被嵌入数字水印图像能量为:

$$e_{sy} = \frac{\alpha^2}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} |x_{sy}(i, j)|^2$$

设小波分解子块图像为  $X(i, j)$ , 其中  $(i=0 \sim M-1, j=0 \sim N-1)$ ,  $M, N$  分别为子块图像的宽与高,则子块图像能量为:

$$e = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} |x(i, j)|^2$$

则有: 
$$\frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} |x(i, j)|^2 = \frac{\alpha^2}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} |x_{sy}(i, j)|^2$$

因此, 
$$\alpha = \frac{\sqrt{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} |x(i, j)|^2}}{\sqrt{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} |x_{sy}(i, j)|^2}}$$

则提取水印  $S(i, j)$  与原水印  $T_{k1}(i, j)$  的相似度:

$$R_{k1}(i, j) = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [S(i, j)] \times [T_{k1}(i, j)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [S(i, j)]^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [T_{k1}(i, j)]^2}}$$

嵌入水印前后载体图像的峰值信噪比 PSNR:

$$PSNR = 10 \lg_{10} \left( \frac{255^2}{MSE} \right)$$
$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i, j) - f'(i, j)]^2$$

其中,  $f(i, j)$  与  $f'(i, j)$  为嵌入水印前后图像的灰度值,  $MSE$  为均方误差。

同时,由于最低分辨率子图受压缩等变换的影响较小,从保证嵌入水印鲁棒性兼顾隐蔽性的角度考虑,应尽量把数字水印图像嵌入到最低分辨率子图像中。本处对数字水印图像的嵌入位置采取了一种折衷的方法,位置如图 3所示,其中,灰色底纹位置为数字水印图像嵌入的示意位置。从保证数字水印鲁棒性,选择的嵌入位置为与第一次分解之后的  $C_1$  中,为了保证隐蔽性,接下来的分解在  $D_2^1$  中进行,在实际应用中,要依据载体图像和数字水印图像尺寸决定小波分解层数,依据分解层数决定嵌入位置。

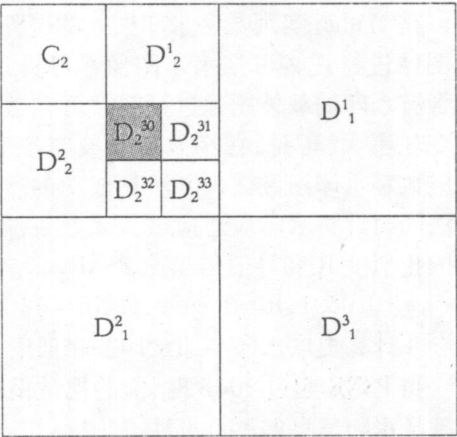


图 3 数字水印图像嵌入位置

4 数字水印的嵌入与提取及其 MATLAB实现

4.1 载体图像与数字水印图像

载体图像采用 512×512灰度为 256级的 Lena图像,采用具有实际意义的汉字,其大小为 64×64灰度为 256级图像作为水印。

4.2 载体图像的小波分解

载体图像经过小波变换后的近似分量和不同方向上的细节分量图像。近似分量图像保存着载体图像的主要信息,细节分量图像描绘的是载体图像的细节和边缘信息。

4.3 含水印载体图像与提取数字水印图像

载体图像小波变换后,在指定位置上嵌入数字水印图像就可以得到含有水印的载体图像,对含有水印的载体图像进行小波变换,在指定位置提取数字水印图像。

4.4 数字水印的嵌入与提取的 MATLAB实现

Matlab是当前在国内外十分流行的工程设计和系统仿真软件包。它是 MathWorks公司于 1982年推出的一套高性能的数值计算和可视化软件,它提供的图像处理工具箱、小波分析工具箱、数字信号处理工具箱是实现数字水印技术非常好的选择。利用上述算法编写的程序,只需几十条语句便可实现数字水印。而这些程序如果用 C 语言或其他高级语言编写程序至少在 100行以上。除此之外, MATLAB还与 VC++6.0有着良好的编程接口,必要时,可以采用 MATLAB与 VC6.0++的混合编程。在小波变换域内基于能量等量替换的自适应数字水印图像嵌入的 Matlab程序运行结果如下图 4。

在 Matlab实现数字水印嵌入的过程中,对含有水印的载体图像进行观察可知水印图像不可见,图像质量未见变化。对含有水印的载体图像进行观察可知数字水印图像完整,质量变化不大,可见,在小波变换域内基于能量等量替换的自适应数字水印图像嵌入方法是成功的。同时,通过运用上述算法同时计算水印自适应嵌入系数  $\alpha$ ,嵌入水印前后载体图像的相似度 R和峰值信噪比 PSNR。

$\alpha=0.0601, R=0.9999, PSNR=48.5439 (dB).$

并计算提取水印与原水印的相似度  $R_{sy}=0.9785$

当 PSNR超过 30dB时,人的视觉很难分辨出原始图像和图像的差异。上述计算结果表明,本算法完全满足水印信息的不可见性。



图 4 Matlab环境下数字水印的嵌入与提取

5 数字水印图像抗攻击能力的 MATLAB环境测试

对算法进行攻击测试是对水印鲁棒性检测的一种重要手段,一个好的水印算法必须经过各种攻击测试才能对之做出客观的评价。MATLAB中的许多函数可以直接用来做的攻击测试。只要载体图像被损坏情况不是很严重,还能抽取出其中的数字水印,这种数字水印嵌入方法才可以在实际的版权保护中得以应用。

常用的攻击函数有:旋转: rotate()、剪裁: imcrop()、滤波: filter()和 filter2(), jpeg压缩: imwrite()中 jpg和 quality 参数能对图像进行可控 jpg压缩,加各种噪声: innoise()可以对图像加入各种噪声,如白噪声、椒盐噪声等,加入噪声是对水印鲁棒性考验的一种常见的攻击。表 1中列出了对载体图像进行各种数字信号处理后提取的数字水印与原水印的相似度,以说明各种数字信号处理对数字水印信息的影响。

表 1 各种数字信号处理对数字水印信息的影响

载体图像	相 关 度					
	锐化	直方图均衡化	均 值 滤 波	低通滤波	高通滤波	加噪声的高斯滤波
Lena	0. 9043	0. 9785	0. 9363	0. 9784	0. 9285	0. 8049

从上面对本文数字水印嵌入方法进行鲁棒性测试的 MATIAB数值计算结果表明, 基于小波变换的自适应图像数字水印技术, 不但数字水印图像隐蔽性好, 而且所嵌入的数字水印图像具有较强的鲁棒性。

数字水印技术作为数据安全领域中的新生事物, 具有很高的技术含量和很强的生命力, 同时也孕育着巨大的商机。会有越来越多的有识之士投入到数字水印技术的研究和产业化进程中来。

[参考文献]

[ 1]靳济芳 .VisualC++小波变换技术及工程实践 [M] . 北京: 人民邮电出版社, 2004

[ 2]潘 蓉, 高有行 . 基于小波变换的图像水印嵌入方法 [ J] . 北京: 中国图像图形学报, 2002 ( 7) .

[ 3]李弼程, 罗建书 . 小波分析及其应用 [M] . 北京: 电子工业出版社, 2003

[ 4]陶 虹, 周良柱, 袁金荣 .MATLAB与 Visual C++混合编程的实现 [ J] . 计算机工程与应用, 2000 ( 10) .

[ 5]孙兆林 .MATLAB6 x图像处理 [M] . 北京: 清华大学出版社, 2002

[ 6]马 苗, 田红鹏, 郝重阳 . 一种高效数字水印研究工具——MATLAB. 信息与控制, 2002 ( 10) .

[责任编辑 欧喜军]