

# 基于人类视觉特性 HVS 和 DWT 的数字水印算法

张新法, 秦茂玲

(山东师范大学 信息科学与工程学院, 山东 济南 250014)

**摘要:** 伴随着网络技术和多媒体技术的飞速发展, 如何保护多媒体信息的安全成为国际上研究的热门课题。数字水印技术是保护版权和认证来源及完整性的新型技术, 提出了一种基于人类视觉特性 HVS 和 DWT 的静态图像数字水印算法, 借鉴了人类视觉特性 HVS 算法的思想, 并做了一些改进。实验表明该算法稳健性较好, 有一定的抗裁剪、噪声、压缩和涂改的能力, 并且算法复杂度较低, 实用性较强。

**关键词:** 数字水印; DWT; HVS

**中图分类号:** TP301.6

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2007)0135-04

## Digital Watermarking Algorithm Based on HVS and DWT

ZHANG Xin-fa, QIN Mao-ling

(College of Information Science and Engineering, Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

**Abstract:** With the rapid development of the network and the multimedia technical, how protects the security of the multimedia informations becomes the popular topic on internationally studies. The digital watermark technology is a new technology for protecting the copyright, the authentication origin and integrity. Proposes one kind of gradation image digital watermark algorithm based on human visual system(HVS) and digital wavelet transformation(DWT), has profited from the HVS algorithm thought, and has made some improvements. The experiment indicated this algorithm robustness is good, to cuts out, the noise, the compression, the modification are strong, and the algorithm order of complexity is low, the usability is strong.

**Key words:** digital watermark; DWT; HVS

## 0 引言

信息媒体的数字化和网络化使多媒体信息的交流已达到了前所未有的深度和广度, 其发布形式也愈加丰富, 计算机网络已经成为发布信息的重要媒介, 这使得数据的交换和传输变成了一个相对简单且快捷的过程。然而, 今天, 在通过计算机网络提供这些服务的时候, 存在很严重的问题: 这些服务很难进行保护(通过网络传输的数据作品极容易被非法复制, 这使得有恶意的个人或团体可以随意拷贝和传播有版权的内容, 而并没有得到作品所有者的许可)。因此如何既充分利用互联网的便利, 又能实施有效的版权保护就成为一个迫在眉睫的现实问题。于是多媒体信息安全学应运而生, 其中数字水印技术是作为信息安全中版权

保护的重要手段, 在众多领域有广泛的应用前景, 如版权保护、数字指纹、认证和完整性校验、内容标识和隐藏标识、使用控制、内容保护、安全不可见通信等几个方面。同时数字水印技术也是一项不成熟的技术, 有很多技术难点需要进一步研究解决。许多不同类型的图像水印算法已被提出, 文中结合图像的视觉感知分析, 提出了一种基于人类视觉特性 HVS 和 DW 的数字水印算法, 实验证明该算法具有较好的稳健性。

## 1 数字水印的基本特征、嵌入方法与原理

### 1.1 数字水印的基本特征

国际上从 20 世纪 90 年代初就开始研究数字水印技术, 并且从 1994 年国际第一次信息隐藏会议召开, 已连续进行了 4 次, 从中也能明显看出发展的速度。国内也进行了三次这方面的研讨会, 极大地促进了这一技术的发展, 并且得到了国家的大力支持。

对现实的数字图像水印系统来说, 必须具备一些基本的特征:

(1) 鲁棒性: 水印的嵌入算法能抵御由标准的或

收稿日期: 2006-10-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(69975010, 60374054); 山东省自然科学基金资助项目(Y2003G01, Z2004G02)

作者简介: 张新法(1978-), 男, 山东菏泽人, 硕士研究生, 研究方向为计算机软件与理论、人工智能、图像处理; 秦茂玲, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为计算机图形学、图像处理、进化计算等。

恶意的数据处理所引起失真。

(2)不可感知性:嵌入水印后的图像与原图像之间的差别应该在人类可感知的门限下,不应引起原始信息可感知的降质与变形;

(3)冗余性:为保证鲁棒性和不可感知性,就应该冗余地将水印分布在宿主数据中;

(4)安全性:水印的信息是安全的,难以篡改或伪造,应有较低的无检测率。水印系统有时使用一个或多个密钥来保证安全性,防止别人修改和擦除水印,有公钥和私钥之分。

### 1.2 数字水印的嵌入方法

水印的嵌入方法一般分为空域和变换域两种。

#### 1.2.1 空域方法

空域方法主要有:LSB(Least Significant Bit)方法、Patchwork方法、纹理块映射编码法等。

(1)LSB方法:在像素的最不重要位嵌入水印信息,这种方法简单,但易受攻击。

(2)Patchwork方法:将图像分成两个子集,一个子集的亮度增加,另一子集的亮度减少同样的量。这个量以不可见为标准。而子集的位置作为密钥,则水印可以很容易地由两个子集间的差别平均而确定。

(3)纹理块映射编码法:将一个基于纹理的水印嵌入到图像的具有相似纹理的一部分当中,这个方法是基于图像的纹理结构的,因而很难察觉水印。但是由于是嵌入图像某一部分当中,对剪切等图像处理操作性能差,而变换域则能较好地解决这个问题。

#### 1.2.2 变换域方法

变换域的方法有DCT,DWT,DFT变换等。

变换域的方法相对于空间域方法来说,有许多优点:

首先,从提高水印的鲁棒性来看,应该嵌入到图像的视觉上最重要的部分,而对图像来说,如果采用变换域的方法,那么图像的低频部分就能直接标记出来。

其次,由于压缩算法大都在频域进行,比如JPEG的DCT的小波等,可以考虑采用频域的方法来提高抵抗压缩操作攻击的能力。

再次,有些变换对某些变化有着固有的鲁棒性,比如DFT具有仿射不变性,对图像的空间坐标平移不敏感,因而可以利用它来恢复经过了仿射变化的图像当中的水印,又如对数极坐标(LPM)变换,可以对旋转和缩放不敏感,因此利用它可以使得对水印图像的任何旋转或缩放操作都不敏感,而利用小波分析的多分辨特性,使得其对图像的剪切操作不敏感。

### 1.3 数字水印原理

数字水印算法包含两个方面,水印的嵌入和水印

的提取或检测。此外从稳健性和安全性考虑,还要对数字水印进行随机化和加密处理<sup>[1,2]</sup>。

#### 1.3.1 数字水印的嵌入原理

数字水印的嵌入原理如图1所示。

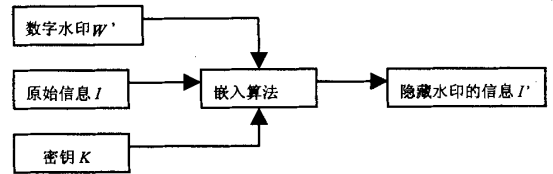


图1 数字水印的嵌入方法原理框图

设原始信息为  $I$ , 水印为  $W$ , 密钥为  $K$ , 处理后的水印为  $W'$  由函数  $F$  决定:  $W' = F(I, W, K)$ , 一般函数  $F$  是非可逆的。在水印嵌入过程中, 设有编码函数  $E$ , 隐藏水印的信息  $I'$ , 那么  $I'$  可以表示为:  $I' = (I, W')$ 。

#### 1.3.2 数字水印的检测原理

数字水印的检测原理如图2所示。

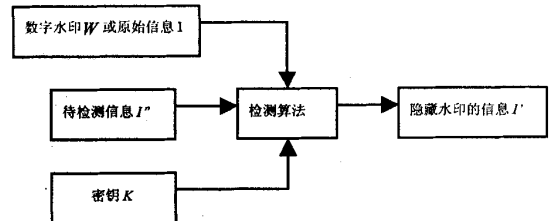


图2 数字水印的检测方法原理框图

水印提取是水印算法中最重要的步骤。若将水印提取过程定义为解码  $D$  过程, 则输出是一个判断水印是否存在的 0-1 决策, 或是包含各种信息的数据流(如文本、图像等)。设已知原始信息为  $I$ , 有版权疑问的待检测信息  $I''$ , 则有:

$$W^* = D(I'', I)$$

或者

$$C(W, W^*, K, \delta) = \begin{cases} 1, & W \text{ 存在} \\ 0, & W \text{ 不存在} \end{cases}$$

其中  $W^*$  为提取出的数字水印,  $K$  为密钥, 函数  $C$  为相关检测,  $\delta$  为决策阈值。

文中提出了基于人类视觉特性 HVS 和 DWT 的数字水印算法。该算法先对原始图像进行三层小波变换<sup>[3]</sup>, 然后考虑人类视觉系统(HVS)的亮度掩蔽特性和纹理掩蔽特性, 折衷水印的隐蔽性和鲁棒性之间的矛盾, 搜索适合水印嵌入的位置, 嵌入水印, 最后进行逆变换即可。

## 2 HVS 技术

为了在图像中嵌入水印且使水印最大限度不可察觉, 根据 HVS<sup>[4,5]</sup> 的视觉特点, 背景的亮度和纹理影

响嵌入水印信号的隐蔽性,背景越亮,嵌入的水印隐蔽性越强,即所谓的亮度掩蔽特性;背景的纹理越复杂,嵌入的水印隐蔽性越强,即所谓的纹理掩蔽特性。

设给定原始图像为:

$$I = \{I(i, j), 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N\} \quad (1)$$

图像的能量计算公式为:

$$E(I) = \frac{1}{M * N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |I(i, j)|$$

根据小波变换域的视觉掩盖特性,高频分量小波系数的选择采取如下策略。

对图像小波包分解后的子带图像  $I_{L,\theta}$  (原始图像进行  $L$  层小波包分解后的  $\theta$  方向的子带分量) 进行搜索,仿照式(1) 计算子带能量,如果某子带系数对应的高频分量满足

$$|E(I_{L,\theta})| > T_{K,LL} \quad (2)$$

其中  $T_{K,LL}$  表示第  $K$  级分解  $LL$  子图的能量均值,则认为该系数为重要系数,选择这些重要的系数位置嵌入水印(阈值  $T_{K,LL}$  根据视觉效果和抗攻击效果确定,需要同时满足水印的视觉不可见性和对一般图像处理算法攻击的可检测性)。其主要原因是考虑到这些重要系数在很大程度上直接影响图像的视觉效果,而人眼对在其中添加的水印噪声却并不敏感,因此既可以提高水印信息的不可见性,同时又具有更好的稳健性及抗攻击性。

### 3 基于小波变换和改进的 HVS 技术的算法

#### 3.1 小波变换(DWT)

图 3 是经过三层小波变换的分解图<sup>[6]</sup>,层次子图依次变成原来的 1/4 大小。

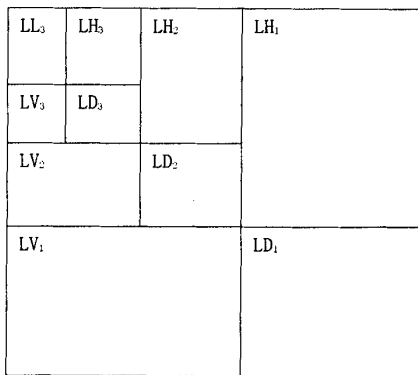


图 3 小波变换图

我们打算把水印图像嵌入到检出的原始图像的重要小波系数位置。

#### 3.2 水印的嵌入与提取

1) 嵌入水印。

第一步:读入原始图像和水印图像,并对原始图像进行三层小波变换。

第二步:分别求小波分解后每一级的  $LL$  层的能量均值  $T_{K,LL}$ 。

第三步:依据  $T_{K,LL}$  值的大小,与每一层的所有小波系数比较,检出重要小波系数,作为水印信息的嵌入位置。

第四步:将水印图像信息  $W$  以 Double 类型的形式读入,按照如下公式嵌入水印:

$$I'_{k,h}(i, j) = I_{k,h}(i, j) + \alpha_{k,h} \times W(i, j)$$

其中  $I_{k,h}(i, j)$  表示嵌入水印前原始载体图像在坐标  $(i, j)$  处的小波系数,  $I'_{k,h}(i, j)$  则表示嵌入水印信息后的小波系数,  $\alpha_{k,h}$  表示第  $k$  级分解第  $h$  个子图上的调节因子,式中  $h \in \{LL, LH, LV, LD\}$ 。其中调节因子:

$$\alpha_{k,h} = \begin{cases} \sqrt{2} & \text{if } d = LD \\ 1 & \text{else} \end{cases} \times 0.10$$

第五步:重构并显示嵌入水印后的图像。

#### 2) 提取水印。

第一步:读入含有水印的图像;

第二步:检出嵌入水印的位置;

第三步:根据公式

$$W(i, j) = \frac{I'_{k,h}(i, j) - I_{k,h}(i, j)}{\alpha_{k,h}}$$

求得水印信息;

第四步:重构并显示提取的水印图像。

### 4 归一化互相关系数 NC 和衡量尺度 PSNR

用归一化互相关系数(Normalized Cross Correlation)NC 衡量提取的水印与原始水印的相似程度,判断水印是否存在:

$$NC = \frac{\sum_m \sum_n w(m, n) * w'(m, n)}{\sum_m \sum_n (w(m, n))^2}$$

其中  $w$  表示原始水印,大小为  $m * n$ ,  $w'$  表示提取的水印,大小为  $m * n$ 。

通常用 PSNR 作为衡量尺度,表示图像嵌入质量的尺度,得到的比值越大,就表示嵌入水印的图像质量越好。针对普通图像格式,其灰度级别是 0 ~ 255, 0 代表黑色, 255 代表白色。

PSNR 的计算公式如下:

PSNR =

$$101g \frac{m * n * 255^2}{\sum_m \sum_n (w(i, j) - w'(i, j))^2}$$

其中  $w$  和  $w'$  表示同上。

### 5 实验结果与分析

为检验文中提出算法的有效性,所选原始图像是 512×512 的 Lena 图像,原始水印是 32×32 的图像。实验环境是赛扬 553MHz,内存 512,操作系统 Windows XP,Matlab7.0.1 做的仿真实验。下面给出文中算法实现的水印嵌入和提取以及对其鲁棒性的检验结果,如图 4 所示。

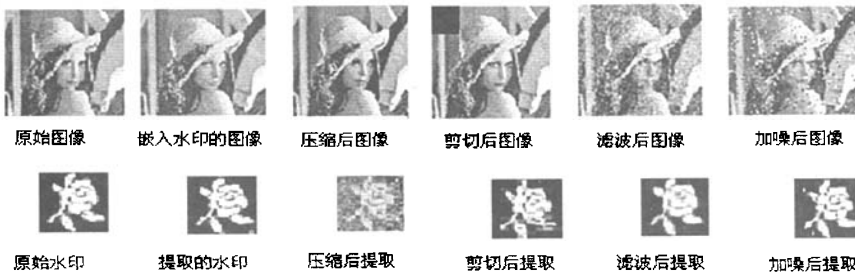


图 4 仿真实验结果

表 1 是经过 SM 值检测得到的,可以看出文中提出的数字水印嵌入算法的可行性,并满足了数字水印系统的透明性和鲁棒性。

表 1 检测结果

检测方法	压缩 30%	剪切 1/16	滤波 2*2	噪声 0.5%
NC 值	0.84277	0.9175	0.8767	0.9910

### 6 结论

提出了一种以灰度图像作水印、基于人类视觉特性 HVS 和 DWT 的静态图像数字水印算法,并做了

(上接第 122 页)

消耗较多的执行服务器的资源,可能得不偿失。

另一方面,遗传优化能够和模糊控制及神经网络进行很好的结合,但是采用遗传优化技术所带来的控制性能的提高与服务器资源的额外开销之间的关系还需要通过试验数据来比较。

### 4 小结

在 ASAS 集群环境下,设计了一个模糊逻辑控制器,为了进一步提高模糊控制器的性能,给出了几个优化的重要方向。率先提出了增量式模糊控制的概念,并给出了增量式模糊控制器的设计结构,这不仅在 ASAS 集群中可以应用,在其它能够用模糊控制的环境中都可以考虑采用这种增量式的方法加以改进。

文章还给出了自适应控制改进方案、模糊神经网络控制方案、遗传算法优化方案,这些方案同样适合于

一些改进,从仿真实验中可以看到其可行性,实验结果表明,该算法有一定的抗压缩、噪声、滤波、剪切的能力。在一定程度上能够经受住压缩、滤波、剪切、加噪等处理,创新之处在于把人类视觉特性和频域思想结合起来,但其对做旋转处理的抗击不够,还有待于进一步提高。

#### 参考文献:

- [1] 胡昌华,张军波.基于 MATLAB 的系统分析与设计——小波分析[M].西安:西安电子科技大学出版社,2001.
- [2] 王晓丹,吴崇明.基于 MATLAB 的系统分析与设计——图像处理[M].西安:西安电子科技大学出版社,2001.
- [3] 姜明新,迟学芬.基于小波多分辨率分解的数字图像水印算法[J].吉林大学学报,2005(2):110-113.
- [4] Sepsirisuk K. An adaptive digital watermark based on a tree structure using the human visual system[J]. IEEE IN T, 2005,2:1062-1065.
- [5] Porter J P. Image adaptive watermarking techniques using models of the human visual system[C]//System Theory.[s.l.]:[s.n.],2006:354-357.
- [6] Kunder D. Digital Watermarking Using Multiresolution Wavelet Decomposition[C]//IEEE IN T Conf A SSP 1998.[s.l.]:[s.n.],1998:2969-2972.

化学工业、气温控制、洗衣机控制、速度控制等应用环境。

#### 参考文献:

- [1] 金士尧.主动式集群服务器总体设计:中国,02114011.1 [P].2004-06-02.
- [2] 王晓川.主动式集群网络服务器调度机制的研究[D].长沙:国防科技大学计算机学院,2001.
- [3] 夏明波,王晓川,金士尧.模糊控制及其在 ASAS 执行服务器中的应用[J].重庆邮电大学学报:自然科学版,2006,18(5):625-627.
- [4] 夏明波.ASAS 集群及其智能控制策略研究[D].长沙:国防科技大学计算机学院,2006.
- [5] 刘金琨.智能控制[M].北京:电子工业出版社,2005.
- [6] 孙优贤,褚健.工业过程控制技术[M].北京:化学工业出版社,2006.