

# 基于小波域的可见水印处理

胡永健, 余英林

(华南理工大学电子与通信工程系, 广东广州 510641)

**摘要:** 本文提出一种小波域的自适应可见水印处理算法, 该算法通过特殊设计的视觉模型, 根据主图像和水印图像的特征, 逐点确定水印嵌入的拉伸系数, 从而使水印的嵌入程度依主图像和水印图像的特征变化而变化. 实验表明, 结果图像中的水印半透明地呈现在所覆盖的主图像区域, 很好地保持了原始图像的细节, 满足了对可见水印的一般性要求.

**关键词:** 图像水印; 可见水印; 自适应水印处理; 小波域水印处理

**中图分类号:** TN919.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2003) 04-0605-03

## DWT Based Visible Watermarking

HU Yong-jian, YU Ying-lin

(Department of Electronic and communication Engineering, South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510641, China)

**Abstract:** In this paper, a wavelet domain visible watermarking technique has been proposed, where the scaling factors are determined by using both host and watermark features. The pixel-based adaptive scaling of watermark image is most suitable to make the degree of marking applied variable according to both host and watermark features. The experimental results have shown that the resulting image meets the requirements of visible watermarks quite well.

**Key words:** image watermark; visible watermark; adaptively watermarking; wavelet domain watermarking

### 1 引言

互联网的普遍应用要求我们用新的方法保护数字图像与视频的知识版权, 维护多媒体数据的安全. 数字水印技术正是为满足这一需要而发展起来的. 从上个世纪九十年代初期数字水印概念的提出至今, 数字水印技术正成为一个日益活跃的研究领域.

数字水印按其外观形式和应用范围分为三大类: 可见水印, 不可见鲁棒水印和不可见脆弱水印. 这三类水印适用于不同的领域, 具有不同的性质, 强调不同的要求. 可见水印处理有目的地嵌入可见信息, 因此, 特别适合标识版权信息. 可见水印理想的性质和与其相对应的要求大致有以下几点<sup>[1, 2]</sup>:

- (1) 无论是在彩色或灰度图像上, 可见水印均应很容易看见. 这表明只能通过改变图像的亮度分量来嵌入水印信息.
- (2) 水印必须覆盖图像的大部分区域, 且在所覆盖的区域上半透明可见, 不能破坏所覆盖区域的图像细节. 也就是说, 水印的嵌入程度应随主图像局部特征的变化而变化.
- (3) 水印必须很难去掉. 去掉水印比购买使用图像的版权更加昂贵和费力.
- (4) 插入水印应该省时省力, 不需要太多的人工干预.

可见水印通常为一个图章或一行说明文本, 它所包含的信息量一般比不可见水印大得多. 文献中有关可见水印的报告十分有限. IBM Watson 实验室的 Mintzer 等人<sup>[1]</sup>率先提出一种鲁棒的空间域可见水印技术, 并用这种技术实际处理梵第冈档案馆珍贵的历史手稿. Meng 和 Chang<sup>[3]</sup>根据 Mintzer 的方

法, 提出一种 DCT 域的可见水印算法, 直接在压缩域将水印嵌入 MPEG1 和 MPEG2 视频流. Kankanhalli 等人<sup>[4]</sup>提出可以利用图像的内容特征以及亮度的敏感性确定各个 DCT 块的水印嵌入系数/拉伸系数 (scaling factor). Mohanty 等人<sup>[5]</sup>改进了 Kankanhalli 的算法, 增强了水印处理的自适应性. 然而, DCT 域水印处理的一个普遍问题是基于分块拉伸水印图像可能导致视觉上的不连续. 图像的离散小波变换 (DWT) 分解可以较好地模仿人类视觉系统, 因为图像被分解成多个分辨率的表示形式. 因此, 可望小波域的可见水印处理方法在性能上超过 DCT 域的方法.

### 2 视觉模型

可见水印处理与不可见水印处理最大的不同是除了考虑对高频分量进行操作外, 还必须考虑如何将水印嵌入原始主图像的低频分量.

#### 2.1 亮度掩膜

图像小波分解的低频子带实质上是原始图像的低分辨率表示形式, 本文用低频子带系数近似地表示所对应空间域图像的背景亮度<sup>[6]</sup>. 根据人类视觉系统的研究成果, 人眼对于图像中间亮度区域的畸变最为敏感, 且对于亮度的敏感性随着灰度值的增加或减小向两端呈抛物线状下降<sup>[4]</sup>. 据此, 本文提出图像的亮度掩膜为

$$L(i, j) = 1 - \left( \frac{C_{ij} - C_m}{C_{\max}} \right)^2 \quad (1)$$

式中  $C_{ij}$  表示低频子带的一个系数, 其坐标值为  $i, j$ .  $C_m$  和

收稿日期: 2001-09-17; 修回日期: 2002-03-20

基金项目: 香港城市大学战略研究基金 (No. 7001181)

$C_{\max}$  分别表示低频子带全体系数的平均值和最大值. 本文水印的低频嵌入系数完全由亮度掩膜函数确定. 此外, 亮度掩膜也用于确定高频嵌入系数.

## 2.2 局部空间特征的描述

通常高频分量反映信号急剧变化的局部特征(如边缘和纹理). 本文将小波系数模型化为零均值、参数未知 GGD (generalized Caussian distribution) 随机变量<sup>[7]</sup>. 零均值 GGD 的一般性描述公式为

$$GG_{\sigma, \alpha}(x) = C(\sigma, \alpha) e^{-\left(\frac{|x|}{\sigma}\right)^{\alpha}}, \quad -\infty < x < \infty, \quad \sigma > 0, \quad \alpha > 0 \quad (2)$$

这里  $\sigma$  和  $\alpha$  分别为标准差和形状因子. GGD 密度函数二种特殊形式是拉普拉斯分布 ( $\alpha = 1$ ) 和高斯分布 ( $\alpha = 2$ ). 由实验可知, 标准差  $\sigma$  的幅值可以很好地区分高能区域和平坦区域, 即在边缘与纹理区域,  $\sigma$  的值较大, 而在平坦区域,  $\sigma$  的值较小. 因此, 本文提出用  $\sigma$  逐个像素地描述图像的局部空间特性.  $\sigma$  的值可用上下文建模的方法来估算.

通常, 一个系数的上下文可以由与其有因果关系的邻域的绝对值加权平均来估算. 考虑位于一个具有  $M^2$  个系数的子带上的小波系数  $X[i, j]$ . 将  $X[i, j]$  看成一个 GGD 随机变量, 其方差可按如下方式进行估算. 在同一子带上选择  $X[i, j]$  的八邻域, 另外加上低一级分辨率频率子带在相同方向上的父系数  $X[i/2, j/2]$ , 这九个系数构成  $X[i, j]$  的一个邻域. 将这九个系数的绝对值按  $9 \times 1$  构成一个向量  $u_{ij}$ , 则当前系数的上下文值  $Z[i, j]$  为

$$Z[i, j] = w_{LS} u_{ij} \quad (3)$$

权值  $w_{LS}$  可用最小平方估计求得(详见文献[7]). 按公式(3)可求出当前子带各个系数的上下文值. 对于任一给定的  $X[i_0, j_0]$ , 其方差可由下式估计

$$\sigma_x^2[i_0, j_0] = \frac{1}{2L+1} \sum_{k \in B_{i_0, j_0}} X[k, l]^2 \quad (4)$$

其中  $B_{i_0, j_0}$  是由  $\{X[i, j]\}$  组成的系数集合, 集合中任一  $X[i, j]$  的上下文值  $Z[i, j]$  均落在上下文值排序集合中以  $Z[i_0, j_0]$  为中心、长度为  $2L+1$  的滑动窗内. 这里  $L = \max(50, 0.02 \cdot M^2)$ . 注意, 滑动窗的宽度  $L$  值不能太大或太小, 太大会破坏窗的局部性, 而太小则方差估计的不准确. 按公式(4)可求出当前子带各个系数的方差, 从而得到相应标准差的估计值.

## 3 多分辨率的水印嵌入

可见水印的嵌入必须对主图像和水印图像同时进行拉伸, 这是因为嵌入可见水印不仅影响主图像的细节特征, 而且还会影响其平均亮度. 可见水印一般性嵌入公式可描述为

$$C_{ij} = (i, j) C_{ij} + (i, j) W_{ij} \quad (5)$$

式中  $(i, j)$  和  $(i, j)$  分别为原始图像和水印图像的拉伸系数.  $C_{ij}$  和  $W_{ij}$  分别表示主图像和水印图像的变换系数,  $C_{ij}$  表示嵌入水印后结果图像的变换系数. 每一对  $(i, j)$  和  $(i, j)$  依小波系数不同而变化, 并且对于低频子带和高频子带, 确定

$(i, j)$  和  $(i, j)$  的规则不一样.

### 3.1 低频子带的拉伸系数

本文低频子带的拉伸系数  $(i, j)$  和  $(i, j)$  直接由主图像低频子带上的亮度掩膜函数确定:

$$l(i, j) = L(i, j) \quad (6)$$

$$l(i, j) = 1 - L(i, j) \quad (7)$$

式中  $L(i, j)$  为调整后的亮度掩膜值, 其变化被限定在 0.90 - 0.95 的范围内. 将水印信号的最低嵌入加权值定为 0.05 的原因是, 在保证对原始图像视觉真实度破坏不大的情况下, 水印具有良好的可见性. 水印的自适应性和鲁棒性则是靠拉伸系数的动态变化来实现的.

### 3.2 高频子带的拉伸系数

在高频子带上, 我们既考虑了亮度对人眼视觉感受的影响, 又考虑了图像局部区域的活动性. 因此, 同时需要亮度掩膜和局部空间特征来确定高频子带的拉伸系数. 本文对图像进行四级小波分解. 对于第  $r$  ( $r=1, 2, 3, 4$ ) 级分辨率, 频率方向为  $s$  ( $s=HL, LH, HH$ ) 的某一高频子带, 任一小波系数所对应的拉伸系数可由下式确定:

$$h(i, j) = \sigma_x L(i/2^{4-r}, j/2^{4-r}) \quad (8)$$

$$h(i, j) = \frac{1}{\sigma_x} (1 - L(i/2^{4-r}, j/2^{4-r})) \quad (9)$$

式中  $X[i, j]$  为位于第  $r$  级分辨率子带上坐标为  $i, j$  的小波系数. 由于任一低频子带系数是 HL, LH, HH 三个不同方向上的四叉树的根节点, 故可决定任意高频子带上亮度掩膜对于人眼的影响. 一般而言, 标准差  $\sigma_x$  幅值变化的范围很大, 本文将  $\sigma_x$  的值调整到 0.5~1 的范围内. 调整后的标准差  $\sigma_x$  和亮度掩膜  $L(i, j)$  共同确定当前小波系数所对应的拉伸系数. 若将  $\sigma_x$  的值调整到更大的范围内, 会使水印更鲁棒, 且可见性更好, 但主图像的细节损失也更多.

### 3.3 可见水印嵌入的一般步骤

小波域可见水印处理的一般性嵌入步骤可描述如下:

(1) 将水印图像的大小调整到与主图像一致, 分别对主图像和水印图像进行四级小波分解(图1).

(2) 计算低频子带系数和各个高频子带系数所对应的拉伸系数.

(3) 由于主图像与水印图像的平均亮度不一定相近, 为了防止结果图像与原始图像在亮度上有明显差异, 在水印嵌入前, 将水印图像各个子带系数调整到与相应的主图像系数一致的范围内.

(4) 按照一一对应的规则嵌入水印, 主图像的各个子带与水印图像的相应子带按公式(5)分别进行叠加运算, 将所得到的变换图像进行 DWT 反变换, 得到重构后的结果图像.

## 4 利用水印图像的特征改进算法

尽管利用主图像特征可以自适应地嵌入水印, 仔细研究发现, 水印图像本身也可能影响水印算法的性能. 我们认为, 一个好的水印处理算法在进行水印嵌入时应该同时考虑主图像和水印图像的特征. 本文利用水印图像本身的特征来控制水印能量的输入, 尽可能保留水印特征系数能量的输入, 同时

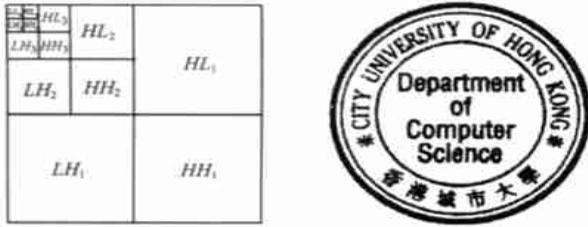


图 1 (a) 图像的四级小波分解; (b) 水印图像

减弱不重要系数能量的输入,以避免水印整体能量过大而影响主图像的主观视觉。注意,这里所讨论的操作只针对高频分量。水印的低频系数应该由宿主图像所决定的拉伸系数全部嵌入,否则会影响水印在结果图像中的视觉质量。

#### 4.1 水印图像的特征

本文所使用的水印图像特征与主图像的一样。我们用标准差  $w$  来描述水印图像的局部特征。用求  $x$  类似的方法,可以求出每一  $w$  的估计值。

#### 4.2 利用水印图像特征修正拉伸系数

利用水印图像特征修正求取拉伸系数的公式(8)(9),具体如下:

$$h(i, j) = (x + K_c x(1 - w)) L(i/2^{4-r}, j/2^{4-r}) \quad (10)$$

$$h(i, j) = \frac{1}{x + K_c x(1 - w)} (1 - L(i/2^{4-r}, j/2^{4-r})) \quad (11)$$

式中  $w$  是规范化(归一化)后的  $w$ ,  $K_c$  是加权系数。分量  $(1 - w)$  体现水印图像特征对于拉伸系数的影响。在水印图像的活动区域,  $w$  的值接近于 1, 故分量  $K_c x(1 - w)$  的值很小, 此时  $h(i, j)$  的值相应较大, 从而在结果图像中尽可能地反映水印图像局部区域的细节。反之, 在水印图像的平坦区域,  $h(i, j)$  较大, 以便在结果图像中充分保留主图像的细节。 $K_c x$  用于限制水印对拉伸系数影响的程度。由于主图像细节比水印图像细节更为重要, 因此, 加权系数  $K_c$  一般较小, 经验数据为 0.1。大的  $K_c$  会使主图像视觉效果退化。

改进后的算法抑制了不重要水印能量的输入。实际上, 在实用中不必要也不可能结果图像上显示水印图像的全部细节。

## 5 实验结果与结论

我们对具有不同视觉特征的图像进行了实验, 并取得了较为满意的结果。这里只给出对 512 × 512 lena 图像的实验结



图 2 (a) 用方法一嵌入的结果图像; (b) 用方法二嵌入的结果图像

果(如图 2)。所采用小波为 sym8。我们将依赖于主图像特征确定拉伸系数的方法叫方法一, 将同时依赖于主图像和水印图像特征的方法叫方法二。在方法一中, 水印具有良好的可见性, 然而, 水印的大能量输入平滑了主图像的某些细节。方法二明显抑制了平滑。从结果图像可以看到, 水印半透明地呈现, 尤其在纹理和边缘区域, 极好地保持了主图像的细节。这说明利用水印的特征确实可以改善算法。实际上, 我们还可以用门限化方法预处理水印图像, 以减少可见水印的实际嵌入信息量。

综上所述, 我们提出了一种简单有效的自适应可见水印处理算法。根据主图像特征和水印图像特征, 水印信号逐点变化地嵌入到主图像, 不仅使水印满足了可见性要求和保持原始主图像特征, 其自适应的嵌入方式还使水印极难去掉。

#### 参考文献:

- [1] G W Braudaway, K A Magerlein, F C Mintzer. Protecting public-available images with a visible image watermark [A]. Proc. SPIE, Conf on Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques [C]. SPIE, 1996. San Jose, CA, USA SPIE.
- [2] M M Yeung, F C Mintzer, G W Braudaway, A R Rao. Digital watermarking for high-quality imaging [A]. Proc. IEEE First Workshop on Multimedia Signal Processing [C]. USA: IEEE, 1997.
- [3] J Meng, S F Chang. Embedding visible video watermarking in the compressed domain [A]. Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing [C]. USA: IEEE, 1998.
- [4] M Kankanhalli, K R Ramakrishnan. Adaptive visible watermarking of images [A]. Proc. of ICMCS '99 [C]. Florence, Italy, IEEE, 1999.
- [5] S P Mohanty, K R Ramakrishnan, M Kankanhalli. A DCT domain visible watermarking technique for images [A]. Proc. Int. Conf. on Multimedia and Expo [C]. USA: IEEE, 2000.
- [6] A S Lewis, G Knowles. Image compression using the 2-D wavelet transform [J]. IEEE Trans on Image Processing, 1992, 1(2): 244 - 250.
- [7] S G Chang, B Yu, M Vetterli. Spatially adaptive wavelet thresholding with context modeling for image denoising [J]. IEEE Trans on Image Processing, 2000, 9(9): 1522 - 1531.

#### 作者简介:



胡永健 男, 1962 年生于湖北武汉, 1990 年获西安交通大学图像处理与模式识别专业硕士学位, 2002 年于华南理工大学获通信与信息系统专业博士学位, 现在中山大学信息科学与技术学院计算数学站从事博士后研究, 主要研究方向为数字水印处理、图像及视频的压缩编码。

余英林 男, 1932 年生于广东台山, 1961 年获中国科学院副博士学位, 现为华南理工大学电子与通信工程系教授、博士生导师。目前主要研究方向包括图像与图形处理、神经网络、信号处理、模式识别、模糊技术等。