

具有图像内容保持特性的小波域可见水印

龚声蓉¹ 杨善超¹

(1 苏州大学计算机科学与技术学院, 苏州市十梓街 1 号, 215006)

摘 要: 根据图像的噪声掩蔽性设计了一种小波域可见水印算法, 并根据水印图像的纹理特征对算法作了进一步改进。在此基础上, 提出了具有内容保持的嵌入策略及改进算法。实验结果表明, 该算法在保证水印具有较好可见性的同时, 载体图像内容得到了保持。
关键词: 可见水印; 小波变换; 图像内容
中图法分类号: P237.3

随着网络 and 多媒体技术的发展, 人们处理媒体数据更加便捷。与此同时, 数字媒体被侵权事件屡有发生。数字水印技术通过向数字媒体中嵌入水印有效地保护数字媒体的版权, 目前正得到越来越多的应用。根据嵌入的水印是否可见, 数字水印技术可以分为可见水印技术和不可见水印技术。

可见水印有以下 3 个重要的特性^[1, 2]: 水印添加后, 能够用肉眼观察出水印的存在, 并且图像中的不同区域具有一致的视觉突出效果; 添加了水印后的图像的细节不易遭到严重的破坏; 水印算法要具备很强的鲁棒性, 能够避免各种恶意的攻击, 一旦遭到破坏, 图像质量会遭到严重损坏。

1 基于视觉掩蔽性的可见水印算法

1.1 算法描述

首先将水印图像调整到和载体图像相同尺寸和灰度等级, 并对原图像和水印图像分别作 4 级小波变换; 接着根据本文设计的嵌入强度计算公式逐个计算小波域上每一个位置所对应的水印嵌入强度; 然后运用水印嵌入公式进行水印嵌入; 最后对嵌入水印后的系数矩阵作小波逆变换, 得到嵌入可见水印后的图像。

在本文设计的算法中, 采用的水印嵌入公式

为:

$$C'_{ij} = (1 - \alpha_{ij}) C_{ij} + \alpha_{ij} W_{ij}$$

式中, α_{ij} ($0 \leq \alpha_{ij} \leq 1$) 为水印嵌入的拉伸系数, 即为嵌入强度; C_{ij} 为嵌入之前载体图像 (i, j) 位置上的系数值; W_{ij} 为嵌入水印之后载体图像 (i, j) 位置上的系数值; C'_{ij} 为相应位置上的水印图像的系数值。

水印嵌入强度决定着水印的可见性和载体图像内容的保持, 因此, 水印嵌入强度的调节是本算法的关键。

1.2 图像的视觉掩蔽性分析

图像经过多级小波变换后被分解成不同的子带, 第 l 级分解的高频子带组成子带 l 。如图 1 中, HL_l 、 LH_l 和 HH_l 为第 l 级小波分解的高频子带, LL_3 为第 3 级小波分解的低频子带, l 为小波分解的级数。

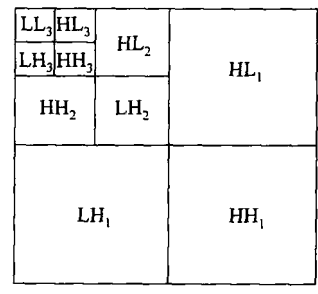


图 1 3 级小波分解结构图
Fig. 1 Frame Work of Three Level Wavelet Decomposition

如果将水印信号看作噪声,设计可见水印就要考虑背景图像对噪声的掩蔽特性。图像的高频系数从小到大分别对应了空域上的平滑区域、纹理区域、边缘区域^[2-6],从而具有了不同的噪声掩蔽性。同一邻域内纹理越复杂,对噪声的掩蔽性就越大。因此,可以用纹理复杂度来描述图像纹理的复杂程度。

定义 1 系数纹理复杂度。 (i, j) 位置的系数纹理复杂度定义为:

$$T_{ij}^l = \frac{1}{9 \cdot 2^{l-1}} \sum_{(i,j) \in \Omega} |C_{ij}| \tag{1}$$

式中, C_{ij} 为 (i, j) 位置的高频系数; Ω 表示以该系数为中心的 3×3 邻域; l 表示小波变换的级数。

定义 2 子带纹理复杂度。子带 l 的纹理复杂度定义为:

$$T^l = \frac{1}{\text{num}(C_{ij})_{(i,j) \in \Phi}} \sum T_{ij}^l \tag{2}$$

式中, $\text{num}(C_{ij})$ 表示子带 l 中的系数个数。

子带纹理复杂度可以用来描述某子带的平均纹理的复杂程度。

定义 3 图像纹理复杂度。图像纹理复杂度为:

$$T = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^k \frac{1}{\text{num}(C_{ij})_{(i,j) \in \Phi}} \sum T_{ij}^l \tag{3}$$

式中, k 表示小波分解的最大级数。图像纹理复杂度描述了图像平均纹理的复杂程度。

高频系数对噪声的掩蔽性大小不仅取决于该位置的纹理复杂度,还与其所处的子带、图像纹理复杂度有关。所处的子带、图像纹理复杂度越大,相应的高频系数的噪声掩蔽性也就越强。

1.3 水印嵌入强度的调节方法

1.3.1 低频系数的嵌入

因为低频的纹理较少,在视觉掩蔽特性中所起的作用可以忽略,因此,水印低频系数的嵌入只考虑其亮度掩蔽性。根据亮度掩蔽性具有在中等亮度掩蔽性较弱、在高亮度和低亮度掩蔽性较强的特点,本文为中等亮度系数设置了一个最小嵌入强度 C_L ,对高亮度和低亮度系数的嵌入强度采用式(4)来进行调节:

$$\left(\frac{C_{ij} - C_m}{\Delta C} \right)^2 \tag{4}$$

式中, C_{ij} 为 (i, j) 位置的系数; C_m 为中等亮度的亮度值; ΔC 定义如下:

$$\Delta C = \max \left\{ \frac{C_{\max} - C_m}{2}, \frac{C_m - C_{\min}}{2} \right\} \tag{5}$$

式中, C_{\max} 为最大亮度; C_{\min} 为最小亮度。

不同的图像亮度掩蔽性的调节能力也是不同

的。图像亮度分布范围较小,则亮度掩蔽性的调节范围较小,反之则较大。因此,定义亮度嵌入强度的可调节范围 ΔC_L 为:

$$\Delta C_L = \frac{C_{\max} - C_{\min}}{2} \times w_l \tag{6}$$

式中, w_l 为低频调节范围的系数,为一恒定值。经过大量实验,测定 $w_l = 0.0003$ 。

至此,低频系数水印嵌入强度计算公式为:

$$\alpha_{ij} = C_L + \Delta C_L \cdot \left(\frac{C_{ij} - C_m}{\Delta C} \right)^2 \tag{7}$$

式中, α_{ij} 为 (i, j) 位置的嵌入强度; C_{ij} 为低频 (i, j) 位置上的系数。

1.3.2 高频系数的嵌入

由 § 1.1 的分析可以得知,根据图像纹理复杂度能够确定一个总的水印嵌入强度的变化范围 T ,该范围可以基于不同纹理特征结合一个参数 w_h ,来共同控制高频系数的嵌入的总的强度。对于相同的整体可视效果, w_h 是一个固定值。实验测定,当 $w_h = 0.144$ 时,水印具有较好的整体可视效果。

根据子带纹理复杂度的大小能够确定每个子带的嵌入强度变化范围 T^l 。那么,通过对不同子带的嵌入强度进行调节,使得对纹理复杂度贡献大的子带具有较强的嵌入强度,对纹理复杂度贡献较小的子带具有较小的嵌入强度:

$$C_H^l = \frac{T^l}{\max\{T^l\}} \tag{8}$$

再根据同一子带内部系数纹理复杂度的相对大小能够确定每一个系数的嵌入强度 T_{ij}^l ,使得纹理掩蔽性较强的系数采用较大的嵌入强度:

$$C_H^l(i, j) = \frac{T_{ij}^l}{\max\{T_{ij}^l\}} \tag{9}$$

这样,嵌入强度的拉伸系数既考虑到了局部纹理特征,又考虑到整体纹理特征。高频系数水印嵌入强度计算公式为:

$$\alpha'_{ij} = \alpha_{ij} + w_h \times T \times C_H^l \times C_H^l(i, j) \tag{10}$$

式中, α'_{ij} 为高频系数对应的低频中相应位置系数的嵌入强度。

2 基于内容保持的改进算法

对于同一子带内部的各个系数的重要性来说,系数的模代表了能量大小^[6,9],并且反映了该位置的纹理特征,因此,系数的模可以描述系数的重要性,这里把它称作纹理强度。

2.1 基于水印图像纹理特征的改进方案

前面的水印嵌入算法没有考虑水印特点,对

水印的平滑和纹理区域采用相同的嵌入强度, 从而使载体图像内容变得模糊。对于水印图像来说, 纹理信息与平滑区域相比更重要。纹理较少的区域嵌入强度应该较小, 纹理较复杂的地方嵌入强度应该较大, 这样才利于辨认水印。因此, 有必要根据水印图像纹理复杂度进行调节, 这样才有利于载体图像内容的保持。

本文定义水印纹理复杂度调节函数 $f(W_{ij})$, 该函数根据式 (1) 得出:

$$f(W_{ij}) = \frac{\frac{1}{9 \cdot 2^{L-1}} \sum_{(i,j) \in \Omega} |W_{ij}|}{\max \left\{ \frac{1}{9 \cdot 2^{L-1}} \sum_{(i,j) \in \Omega} |W_{ij}| \right\}} \quad (11)$$

利用 $f(W_{ij})$ 对式 (10) 修正后, 高频系数嵌入强度计算公式为:

$$\alpha_{ij} = \alpha_{ij}^l + \Delta C_H \times \Delta C_H \times \Delta C_H(i,j) \cdot f(W_{ij}) \quad (12)$$

实验测定, 当 $w_h = 0.330$ 时, 嵌入水印效果最佳。

2.2 基于载体图像内容保持的改进方案

按照前述策略进行高频子带嵌入强度计算时, 纹理强度增大会使得相应区域纹理复杂度增大, 嵌入的强度应该增大; 而系数越大, 内容重要性越强, 这样将会使原图像重要内容遭到破坏。因此, 可以看出, 噪声的掩蔽特性和图像内容重要性对于水印嵌入是矛盾的。

为了解决这一矛盾, 假设同一高频子带上的 A, B 两位置的系数分别为 C_A, C_B , 嵌入水印后的系数为 C'_A, C'_B , 纹理强度分别为 $|C_A|, |C_B|$, 噪声掩蔽性大小分别为 T_A^l, T_B^l , 水印的相应系数为 W_A, W_B , 水印的嵌入强度为 α_A, α_B 。

令 $T_A^l = T_B^l, |C_A| = |C_B|$ 时, $\alpha_A = \alpha_B$, 来研究当 C_A 不变, 改变 C_B , 使 $|C_B| > |C_A|$, 且 $\Delta C = |C_B| - |C_A|, \Delta C \neq 0, T_A^l = T_B^l$ 时 α_B 与 α_A 的变化关系。

如果 α_B 的变化使得嵌入水印后 A, B 两个位

置系数的差值减小, 即 $|C'_B - C'_A|$ 减小, 再加上水印的加入, 将会使原图像质量遭到极大的破坏。如果两个位置系数的差值增大, 就相当于对原图像进行了增强。那么, 一定存在一个值, 使得嵌入的水印的负面影响和原图像增强的效果相互抵消, 从而使得原图像的质量得到保持。

$|C_B| > |C_A|$ 存在以下 4 种情况。

1) $C_B > C_A > 0$ 。当两者采用的嵌入强度相同时 ($\alpha_B = \alpha_A$),

$$\Delta 1 = C'_B - C'_A = \{C_B(1 - \alpha_B) + W_B \alpha_B\} - \{C_A(1 - \alpha_A) + W_A \alpha_A\} = \{C_B(1 - \alpha_A) + W_B \alpha_B\} - \{C_A(1 - \alpha_A) + W_A \alpha_A\}$$

当两者采用的嵌入强度不同时 ($\alpha_B \neq \alpha_A$),

$$\Delta 2 = C'_B - C'_A = \{C_B(1 - \alpha_B) + W_B \alpha_B\} - \{C_A(1 - \alpha_A) + W_A \alpha_A\}$$

欲使当 $|C_B| > |C_A|$ 时, $\Delta 2 > \Delta 1$, 即有:

$$\begin{aligned} \Delta 2 - \Delta 1 &= \\ C_B \alpha_A - C_B \alpha_B + W_B \alpha_B - W_B \alpha_A &= \\ (C_B - W_B)(\alpha_A - \alpha_B) &> 0 \end{aligned}$$

只须

$$\begin{cases} \alpha_B > \alpha_A, 0 < C_B < W_B \\ \alpha_B < \alpha_A, C_B > 0, C_B > W_B \end{cases}$$

当 $C_B < W_B, \Delta C = |C_B| - |C_A|, \Delta C \neq 0, \Delta C > 0, \Delta \alpha = \alpha_B - \alpha_A > 0$, 那么, 当 $C_{ij} < W_B$ 时, α 的值随着 C_{ij} 的增大而增大。当 $C_B > W_B$ 时, $\Delta C > 0, \Delta \alpha = \alpha_B - \alpha_A < 0$ 那么, 当 $C_{ij} > W_B$ 时, α 的值随着 C_{ij} 的增大而减小。由这种推理能大致地描绘出 α 与 C_{ij} 的相互关系。

可能的情况如图 2 (a)、2(b) 所示, 这两幅图描绘了 W_B 在发生变动时会出现的所有的函数图像, 其中第一幅图描述了 $W_B > 0$ 的情况, 第二幅图描述了 $W_B < 0$ 的情况。

2) 其他 3 种情况可以根据方法 1) 得出, 分析结果见图 2 (c)~2(h)。

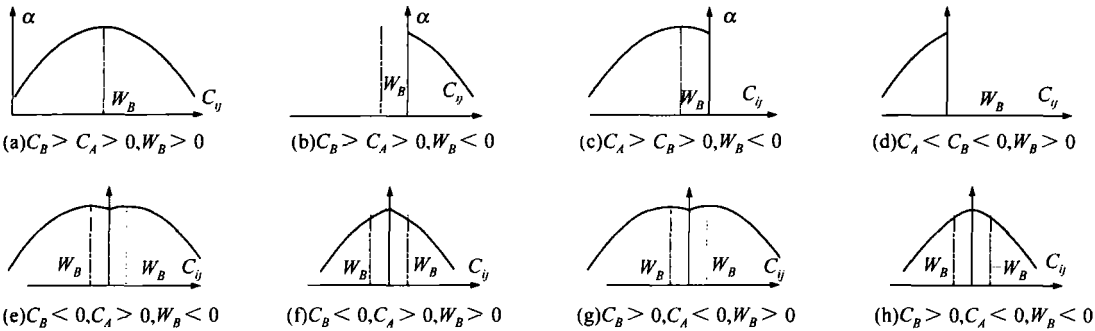


图 2 α 和 C_{ij} 可能的函数关系

Fig. 2 Possible Functions of α and C_{ij}

前面的4种情况合并在一块, α 与 C_{ij} 的关系曲线类似于 $\alpha = b - a(|C_{ij}| - \text{sgn}(C_{ij})W_B)^2$, 其中, 函数 $\text{sgn}(x)$ 为符号函数。

根据前面分析, 找出了具有载体图像保持效果的嵌入强度变化曲线。可以构造一个满足这种曲线特性的函数, 对 § 2. 1 的算法加以改进。令

$$\alpha_{ij} = \alpha'_{ij} + \Delta C_H \Delta C_H^l \Delta C_H^h(i, j)$$
$$f(W_{ij})g(C_{ij}, W_{ij}) \tag{13}$$

其中,

$$g(C_{ij}, W_{ij}) = 1 - \frac{(\text{abs}(C_{ij}) - \text{sgn}(C_{ij}) \cdot W_{ij})^2}{\max\{\max\{C_{ij}\} - \min\{W_{ij}\}, \max\{W_{ij}\} - \min\{C_{ij}\}\}}$$

$$\tag{14}$$

式中, C_{ij} 为载体图像 (i, j) 位置的高频系数; W_{ij} 为水印图像 W_{ij} 。

3 实验结果

采用的测试图像为 Lena 和 Watermark, 其分辨率均为 512 像素 × 512 像素, 其中 Lena 为

256 色灰度图, Watamark 为黑白二值图像, 如图 3 (a)、3(b) 所示。

本文进行了 3 个实验, 内容和参数设置详见表 1。实验结果图像如图 3 (c) ~ 3(e) 所示。可以看出, 本算法实现的水印清晰可见, 改进后的实验既能保证水印的可见性, 对于原图像的破坏也越来越小, 充分说明本文提出的各种策略是切实可行的。嵌入后 Baboon 和 Lena 图像的信噪比分别为 13. 16, 14. 78 和 15. 46, 均方误差分别为 88. 65, 78. 93 和 75. 43。这里需要说明的是, 可见水印的嵌入量比不可见水印要大得多, 因此信噪比不会太高。

表 1 实验内容和参数设置

Tab. 1 Experimental Content and Parameters Setting

	实验 1	实验 2	实验 3
实验内容	结合§ 1. 3 的分析	结合§ 2. 1 得分析	结合§ 2. 2 的分析
参数 C_L	0. 05		
参数 w_l	0. 000 3		
参数 w_h	0. 144	0. 330	0. 330



图 3 测试图像和实验结果
Fig. 3 Test Images and Experimental Results

参 考 文 献

[1] 郭捷. 基于亮度和纹理特征的可见水印技术[J]. 红外与激光工程, 2003, 32(1): 93-100

[2] 王卫卫. 基于二进小波图像边缘的新相位水印算法[J]. 计算机学报, 2002, 25(7): 767-771

[3] 李道远. 基于小波变换的数字水印技术综述[J]. 计算机工程与应用, 2003, (23): 65-67

[4] 胡永健. 基于小波域的可见水印处理[J]. 电子学报, 2003, 31(4): 605-607

[5] Hu Yongjian, Huang Jiwu, Kwong S, et al. Image Fusion Based Visible Watermarking Using Dual-Tree Complex Wavelet Transform [M]. Berlin:

Springer-Verlag, 2004

[6] 杨旭东. 基于改进的 MSE 准则的小波图像压缩[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2003, 15(4): 402-409

[7] Lewis A S, Knowles G. Image Compression Using the 2-D Wavelet Transform[J]. IEEE Trans. IP, 1992, 1(2): 244-250

[8] 李均利. 客观评价图像编码质量的新方法[J]. 中国图像图形学报, 2004, (9) 11: 1 348-1 355

[9] 黄贤武. 一种改进的基于人眼视觉特性的零树图像编码算法[J]. 计算机研究与发展, 2001, 38(8): 977-981

(下转第 764 页)

Images in Petroleum Applications[C]. SPIE, San Jose, CA, 1999

[11] Ma Weiying, Manjunath B S. A Texture Thesaurus for Browsing Large Aerial Photographs [J]. J. Amer. Soc. Inform. Sci. , 1998, 49(7) : 633-648

第一作者简介: 王波, 博士生。研究方向为信息处理与模式识别。
E-mail: yyywb@ 163. com

An Efficient Image Retrieval Approach Based on Generalized Image Co-occurrence Matrix

WANG Bo¹ YAO Hongyu¹ LI Bicheng¹

(1 Information Engineering Institute, Information Engineering University, 7 Jianxue Street, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The spatial information of the image is applied to image retrieval based on generalized image co-occurrence matrix. Experimental results show that the retrieval efficiency is improved largely compared with the classic co-occurrence matrix method.

Key words: image retrieval; content-based retrieval; smoothed image; co-occurrence matrix

About the first author: WANG Bo, Ph D candidate. His research orientation is information processing and pattern recognition
E mail: yyywb@ 163. com

(上接第 760 页)

第一作者简介: 龚声蓉, 博士, 教授。已发表论文 40 多篇, 获部级科技进步奖 2 项。目前主要研究领域为图像与视频处理、信息隐藏技术、智能信息处理等。

E-mail: shrgong@ suda. edu. cn

A Visible Watermarking Algorithm Holding Image Content

GONG Shengrong¹ YANG Shanchao¹

(1 College of Computer Science and Technology, Soochow University, 1 Shizi Street, Suzhou 215006, China)

Abstract: A wavelet visible watermarking algorithm is proposed based on noise masking, then the improvement is made based on texture feature of watermark image. Based on the above idea, an image content holding strategy and the algorithm are proposed. Experimental results have showed that the proposed algorithms can ensure watermark visibility and the loss in host image become less.

Key words: visible watermarking, DWT transform; image content

About the first author: GONG Shengrong, Ph D, professor. He has published forty more papers and wined 2 honors from Chinese ministries. His research interests include digital image and video processing, information hiding technology, intelligent information processing, etc.
E mail: shrgong@ suda. edu. cn