

一种小波变换域的自适应视频水印算法

刘红梅, 黄继武, 肖自美

(中山大学电子与通信工程系, 广东广州 510275)

摘 要: 稳健性是数字水印算法的主要问题之一. 根据视觉特点和信号特性实现水印分量的自适应嵌入是提高水印稳健性的有效途径. 本文提出了一种基于小波变换域的自适应视频水印算法. 水印根据 2-D 小波系数的特点嵌入在低频子带系数中, 以获得较好的稳健性. 为了在保证不可见性的前提下尽可能提高水印分量的强度, 本文提出根据物体的运动和视频信号内容的纹理复杂度将低频子带中的系数进行分类, 根据分类结果, 自适应地调整嵌入水印的强度. 实验结果表明: 嵌入水印对多种攻击, 如加性 Gaussian 噪声、高压压缩比的 MPEG2 压缩编码、时域抽样和丢帧、以及空域抽样等具有很好的稳健性.

关键词: 数字水印; 视频水印; 小波变换; 自适应; 稳健性

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 0372-2112 (2001) 12-1656-05

An Adaptive Video Watermarking Algorithm in Wavelet Domain

L IU Hong-mei, HUANG Ji-wu, XIAO Zi-mei

(Department of Electronic and Communication Engineering, Zhongshan University, Guangzhou, Guangdong 510275, China)

Abstract: Robustness is one of the major issues of digital watermarking algorithms. An effective method to improve the robustness of watermark is to embed the watermark adaptively based on the human visual system and signal characteristics. In this paper, an adaptive video watermarking algorithm in wavelet domain is proposed. According to the properties of the 2-D wavelet coefficients, the watermark is inserted into the coefficients of LL subband to achieve better robustness performance. In order to enhance the strength of the components of the watermark, we propose to classify the wavelet coefficients based on the motion of the objects and the texture complexity of the contents in the video sequence. According to the result of classification, the strength of the watermark components is adjusted adaptively. Meanwhile, the transparency of watermark is guaranteed. The experimental results show that the proposed watermarking algorithm is robust to video degradation and distortions, e. g., those that result from additive Gaussian noise, MPEG2 coding at high compression ratio, temporal downsampling and spatial downsampling.

Key words: digital watermarking; video watermarking; wavelet transform; adaptive; robustness

1 引言

数字水印技术是解决数字媒体版权保护问题的有效补充方法^[1]. 稳健性是对水印的基本要求之一. 提高水印稳健性的有效途径是充分利用人眼的视觉特性, 在满足不可见性的要求下, 合理分配水印信号的能量, 尽可能提高局部嵌入水印分量的强度. 基于这一思想的自适应图像水印算法已经开始受到人们的重视^[2-4]. 这些算法都在一定程度上改善了水印的稳健性.

尽管目前大多数水印的研究和文献集中于图像水印, 数字视频水印技术作为一种视频数据的版权保护方法也正在受到越来越多的重视^[4].

视频水印算法根据嵌入水印的数据域分为两种: 压缩域算法和非压缩域算法. 其中非压缩域的水印有: Swanson 等^[2]利用时域小波变换和频率掩蔽特性相结合, 提出了一种多分

辨率的视频水印算法. 在文[5]中, Swanson 等提出了一个基于分块 DCT 变换和频率掩蔽特性的视频水印算法. 文献[6]提出一种基于内容的水印技术. Deguillaume 等^[7]提出将扩频水印嵌入经过 3-D DFT (Discrete Fourier Transform) 变换的视频 3-D 块的变换系数上.

另一类视频水印算法是在压缩域上实现的. Hartung 和 Grod 等^[8]研究了 MPEG2 压缩视频域上的水印算法, 在保持码率基本不变的情况下, 将水印嵌入在 DCT 系数中, 在检测时不需要原始媒体. Jordan 等^[9]提出将水印嵌入运动补偿预测方案中的运动矢量中. Langelaar^[10]等提出两种压缩域上的嵌入方案, 一种方法是替换帧内编码块 DCT 系数的变长码, 另一种是基于丢弃部分压缩视频码流的方法.

从实现的过程, 水印算法可分为两类: 空域的算法和变换域的算法. 变换域的方法具有更优越的性能, 是水印算法未来

收稿日期: 2000-09-21; 修回日期: 2001-03-06

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 69975011, 60172067, 60133020); 广东省自然科学基金 (No. 980442); 广州市重大攻关项目 (2000-Z-004-01)

趋势的主流. 其中 DWT(Discrete Wavelet Transform) 方法在即将制定的国际标准 JPEG2000 和已公布的 MPEG-4 中扮演着重要的角色, 而且具有良好的空间-频率分解特性, 因而具有很好的前景.

目前视频水印的自适应算法尚未得到充分的研究, 上述视频水印算法基本上利用的是视频序列中每一帧图像作为静止图像时的视觉特性的自适应算法, 没有利用人眼对运动和静止物体不同的视觉特性. 因此本文提出一种基于小波变换域的自适应于视频景物运动和信号内容的水印算法.

首先我们将视频序列的每一帧进行 2-D DWT. 和已有的基于 DWT 水印算法将水印嵌入于高频子带不同的是, 我们提出将水印嵌入于低频子带系数中, 以获得更好的稳健性.

本文的自适应视频水印算法同时考虑了帧内和帧间的信息. 在帧内, 对小波变换域的低频子带图像的纹理进行分类, 利用纹理掩蔽特性自适应地调整嵌入水印的强度. 同时, 考虑了 HVS 对静止物体和运动物体的视觉特性, 在相邻帧间对小波变换域的低频子带图像进行运动检测, 将低频子带分割成运动区域和静止区域, 在不同区域嵌入不同的水印强度. 所提出的算法自适应于视频运动和视频信号内容, 在保证不可见性的同时, 使水印具有较好的稳健性.

本文的结构如下, 第 2 节概述了所提出的算法. 第 3 节介绍了运动检测和纹理分类方法. 第 4 节给出了视频水印的检测. 实验结果和结论分别在第 5 和第 6 节中给出.

2 算法概述

本文提出的视频水印嵌入算法的原理如图 1 所示.

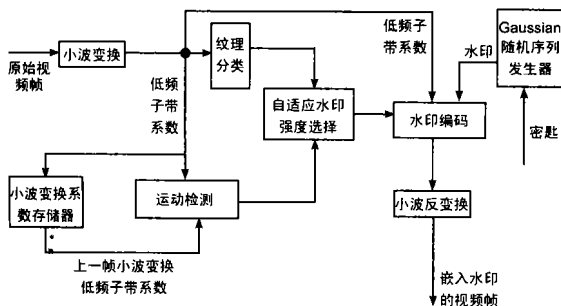


图 1 基于小波变换域的自适应视频水印算法框图

首先对视频序列中每帧的亮度分量进行 2-D DWT, 在我们的实验中, DWT 采用双正交 D9/7 滤波器进行 3 级小波分解与重建.

根据 Cox^[1] 的观点, 水印应放在视觉上最重要的地方(对应于频率域的低频系数), 这种做法已成为一种典型的嵌入方法. 文献[11]根据对图像块 DCT 系数的定性/定量分析, 提出 DC(直流)分量比 AC(交流)分量更适合嵌入水印, 在保证不可见性的同时, 能获得更好的稳健性. 作为这一方法在小波变换域的延伸, 我们提出将水印嵌入 DWT 低频子带系数中, 以提高水印的稳健性. 我们的实验结果支持了这一嵌入对策.

视频序列与静止图像的不同在于它包含有运动的部分, 具有变化的特性. 而人眼在物体发生运动时的空间敏感度有

所下降, 可以在运动区域嵌入较高强度的水印分量. 因此我们采用在相邻帧的低频子带间使用运动检测器, 将每一帧的低频子带分割成静止区域和运动区域, 在不同的区域嵌入不同强度的水印分量, 使水印算法自适应于视频序列中物体的运动.

水印编码可看作在强背景(原始图像)下迭加一个弱信号(水印). 只要迭加的信号低于对比度门限, 视觉系统就无法感觉到迭加信号的存在^[12]. 根据 HVS 的对比度特性, 该门限值受背景照度、背景纹理复杂性和信号频率的影响. 背景越亮, 纹理越复杂(或有边缘存在), 门限就越高^[12~14]. 这种现象称为照度掩蔽和纹理掩蔽. 视觉掩蔽特性使具有不同局部性质的区域, 在保证不可见性的前提下, 迭加的信号不同. 因此我们提出将低频子带系数按所代表的空间域的块的纹理复杂度进行分类, 对应原始图像不同区域的系数嵌入不同的水印分量, 使水印算法自适应于视频信号的内容.

根据上述分析, 我们将低频子带的系数分成如下三类:

(1) 静止的, 纹理简单区域, 对应的水印强度为 α_1 .

(2) 静止的, 纹理复杂区域, 或运动的, 纹理简单区域, 对应的水印强度为 α_2 .

(3) 运动的, 纹理复杂区域, 对应的水印强度为 α_3 .

依据人眼的视觉特性, 各系数的选择应满足 $\alpha_3 > \alpha_2 > \alpha_1$.

本文的水印由 Gaussian 随机序列构成. Cox 等^[1]提出, 利用 Gaussian 随机序列产生的水印具有更好的稳健性. 对满足 $N(0, 1)$ 分布的 Gaussian 随机序列, 序列长度越长, 则稳健性越好. 但当序列长度较长时, 序列个别样值的幅度有可能太大而影响水印的不可见性. 为了避免上述问题, 我们为视频信号的每一帧生成一个单独的水印. 设低频子带系数的个数为 N , 则第 k 帧的水印为 $w^{(k)} = \{x_i^{(k)}, 0 \leq i < N\}$. 这种考虑也可解决视频帧丢失时的水印检测问题.

为了将水印嵌入到低频子带系数中, 我们将低频子带系数组成矢量 $v^{(k)}$, 根据下式将水印 $w^{(k)}$ 嵌入 $v^{(k)}$ 中生成 $\tilde{v}^{(k)}$

$$\tilde{v}_i^{(k)} = v_i^{(k)} + \alpha x_i^{(k)}$$

其中 α 代表水印强度, 其值根据上述分类结果自适应调整.

最后将嵌入水印的小波系数进行小波反变换, 生成嵌入水印的视频帧.

3 运动检测和纹理分类

3.1 运动检测

运动检测器主要用来检测当前帧小波分解后低频子图像相对于前一帧小波分解低频子图像有无变化, 并将当前帧的小波分解低频子图像分割成静止区域和运动区域. 它主要包括以下几个部分:

(1) 计算当前帧(第 k 帧)和上一帧(第 $k-1$ 帧)图像小波变换后低频子带系数的差:

$$FD(x, y) = S_k(x, y) - S_{k-1}(x, y)$$

(2) 设定阈值 T_1, T_2 , 判别每个系数 $p(x, y)$ 所对应空间位置的像素的状态

$$p(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{静止} & |FD(x, y)| < T_1 \\ Z, & \text{不确定} & T_1 \leq |FD(x, y)| \leq T_2 \\ 1, & \text{运动} & |FD(x, y)| > T_2 \end{cases}$$

阈值 T_1 和 T_2 的选择必须适应图像序列的噪声幅度. 使用不确定状态可以避免有噪声引起的误判决.

(3) 中值滤波消除孤立噪声点.

(4) 消除不确定状态. 为了使结果只有静止和运动两种状态, 必须消除不确定状态. 按光栅顺序扫描 $p(x, y)$, 若遇到状态不确定的系数, 则以该系数为中心, 计算 3×3 测量窗内静止状态的系数个数 C . 若 C 大于或等于 5, 则该系数 $p(x, y)$ 所对应空间位置的像素的状态是静止的, 否则是运动的.

(5) 采用标号的方法消除由运动区域包围的静止区域及合并小的运动区域. 如果在两个相继帧间有较大的平坦区在运动, 则前后两帧可能有重叠的区域. 这些区域中的小波系数值可能变化不大, 这样通过阈值运算, 会误判为静止区域, 为了保证运动物体的整体性, 必须消除这样的由运动区域包围的静止区域.

经过上述步骤的处理, 将小波变换后的低频子带分割成静止和运动域. 由于上述步骤中的运算比较简单, 运动检测所需要的计算量很小.

3.2 纹理分类

设小波分解 3 层后的子带如图 2 所示.

由于我们要将水印嵌入到 LL 子带中, 因此需要将实际图像的纹理情况反映在 LL 子带中. 考虑到小波变换后 LL 子带的一点就对应着实际图像中 8×8 的块, 而由 LL 子带的一点无法得到纹理特征 (在本文中主要指纹理复杂性). 如果用 LL 子带中 2×2 的块得到纹理特征, 则使其对应的实际图像中的 16×16 的块太大, 而影响嵌入水印的不可见性. 因此我们采用以下的纹理分类算法, 可以得到 LL 子带一点所对应的实际图像中 8×8 的块的纹理特征.

小波分解的多分辨率表示法提供了一个等级结构来说明图像的信息. 在金字塔不同层的纹理虽然不同却具有很高的相关性, 小波变换后最同分解层的纹理是最粗糙的纹理, 而最低分解层的纹理是最精细的纹理. 第 3 层中 LH_3, HL_3, HH_3 子带的纹理特征和 LL 的纹理特征有着很强的相关性, 因此 LL 子带的纹理特征可以用来预测第 3 层中其它子带的纹理特征, 而第 3 层中各子带的纹理特征又可以预测第 2 分解层中相应子带的纹理特征. 由此类推, 可以由 LL 子带预测得到所有子带的纹理特征.

本文采用变换系数块的标准方差进行纹理复杂性的估计^[15]. 纹理的分类算法如下:

(1) 为每一个子带设定阈值.

(2) 计算 LL_3 子带中 2×2 块 B_{LL_i} 的标准方差 S , 如果 S

$< Th_3$ (Th_3 为 HH_3 子带的阈值), 将对应于 B_{LL_i} 块的 HH_3 子带中的 2×2 的块, HH_2 子带中 4×4 的块, 及 HH_1 子带中 8×8 的块标记为 '0', 即表示这些块对应于纹理简单的区域, 转第 5 步; 否则

(3) 将对应于块 B_{LL_i} 的 HH_3 子带中 2×2 的块 $B_{HH_3_i}$ 标记为 '1', 即表示该块对应于纹理复杂的区域; 计算 HH_3 中 $B_{HH_3_i}$ 的标准方差 S , 如果 $S < Th_2$ (Th_2 为 HH_2 子带的阈值), 将对应于 $B_{HH_3_i}$ 块的 HH_2 子带中的 4×4 的块, 及 HH_1 子带中的 8×8 的块标记为 '0', 转第 5 步; 否则

(4) 将对应于 $B_{HH_3_i}$ 块的 HH_2 子带中的 4×4 的块 $B_{HH_2_i}$ 标记为 '1'; 将 $B_{HH_2_i}$ 分裂成 4 个 2×2 的块. 对每一个 2×2 的块, 计算它的标准方差 S , 如果 $S > Th_1$ (Th_1 为 HH_1 子带的阈值), 将 HH_1 中对应的 4×4 的块标记为 '0', 否则标记为 '1'.

(5) 重复 2~5 步, 直到 LL_3 中所有的 2×2 的块都得到处理.

最后, 将最低分解层的 HH_1 子带按 4×4 的块进行判决, 如果该块被标记为 '1', 即表示纹理复杂区域 (由预测过程可知, 该真既具有复杂的粗糙纹理, 又具有复杂的精细纹理), 则置 LL 子带中相应位置的一点代表的原始图像中 8×8 的块为纹理复杂区域, 否则认为该点代表的原始图像中 8×8 的块为纹理简单区域. 这样即可以得到 LL 子带一点所对应的实际图像中 8×8 的块的纹理特征.

4 水印的检测

在进行水印检测之前, 需要将待检测的视频序列和原始视频序列中的各帧进行小波分解, 获得低频子带系数.

本文的水印检测方法采用如下假设检验:

$$H_0: E^{(k)} = F^{(k)} - F^{(k)} = Q^{(k)} \quad (\text{无水印})$$

$$H_1: E^{(k)} = F^{(k)} - F^{(k)} = W^{(k)} + Q^{(k)} \quad (\text{有水印})$$

其中, $F^{(k)}$ 和 $F^{(k)}$ 分别代表待测视频序列中第 k 帧的 LL 子带系数和原始视频序列中第 k 帧 LL 子带系数. $W^{(k)}$ 为待测水印序列 w 在第 k 帧中的分量, $W^{(k)} = \{w_j^{(k)}, 0 \leq j < N\}$, $Q^{(k)}$ 为噪声. 由于嵌入水印的视频帧可能存在失真, 从中所检测到的水印也将在一定程度上与原始水印有所不同. 为了确定视频序列中是否含有水印, 首先计算 $W^{(k)}$ 与 $W^{(k)}$ 的相似度:

$$\rho^{(k)}(W^{(k)}, W^{(k)}) = \frac{\sum_{j=0}^{N-1} w_j^{(k)} \cdot x_j^{(k)}}{\sqrt{\sum_{j=0}^{N-1} (w_j^{(k)})^2}}$$

设视频序列中共有 L 帧, 则可以得到平均相似度:

$$\rho = \frac{1}{L} \sum_{k=0}^{L-1} \rho^{(k)}(W^{(k)}, W^{(k)})$$

水印存在与否的判定标准为: 若 $\rho > T$, 可以判定被测视频序列中有水印存在; 否则, 没有水印. T 的选择要同时考虑虚警概率和漏警概率. T 减小, 漏警概率降低而虚警概率提高; T 增大, 则虚警概率降低而漏警概率提高. 根据文[1]及实验, 平均相似度门限 T 被设定为 5.

由于本文算法为每一个视频帧单独生成一个由 Gaussian 随机序列构成的水印 $W^{(k)}$, 因此在丢帧的情况下, 由上述检验方法, 可以得到所有保留帧的平均相似度, 使水印基本不受

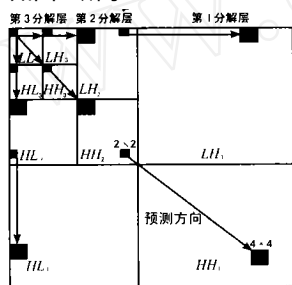


图 2 小波分解子带及纹理分类算法示意图

到丢帧的影响,这对时域抽样具有很好的稳健性。

5 实验结果

我们用 MPEG-2 标准测试序列 Football (每帧大小为 704×576 , 共 32 帧) 及 Flower garden (每帧大小为 720×480 , 共 32 帧), 对本文提出的算法进行了测试。本节给出了实验结果。同时给出了与非自适应算法(即固定一种水印强度的算法)在加性 Gaussian 噪声和 MPEG-2 压缩编码下的稳健性的比较。

嵌入水印的视频帧在视觉上与原始帧无感觉差异, 平均 PSNR 在 40dB 以上。水印算法可以很好地满足不可见性的要求。

水印算法对 MPEG-2 压缩编码的稳健性, 及与非自适应

算法的比较见图 3。图 4 证实了水印对压缩编码的稳健性。图 4(a) 是 Flower garden 序列在比特率 BR = 1.9Mbps, 压缩比 CR = 65:1 的 MPEG-2 编码后的重建帧图像。可以看到重建图像出现了明显的失真 (PSNR = 23dB), 而本文算法仍然能检测到水印的存在。图 4(b) 是序列 Football 在比特率 BR = 1.8M, CR = 66:1 的 MPEG-2 编码后的重建帧图像 (PSNR = 26.80dB)。本文算法仍然能检测到水印的存在。可以看到本文的自适应水印算法对高压缩比的 MPEG-2 压缩编码有较好的稳健性, 明显优于非自适应算法。

自适应水印算法对加性 Gaussian 噪声的稳健性, 及与非自适应算法的比较见图 5。可以看到自适应算法对加性噪声具有较好的稳健性, 且明显优于非自适应算法。

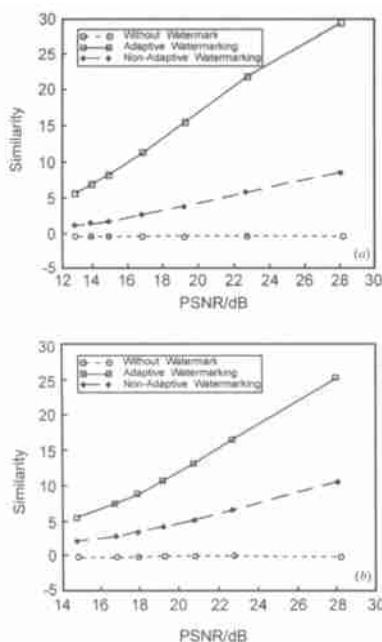


图 3 水印抗 MPEG-2 编码的稳健性。

(a) Flower garden 序列;
(b) Football 序列



图 4 水印抗 MPEG-2 压缩编码的稳健性。

(a) MPEG-2 对“Flower Garden”序列进行编码后对应图 3(b) 的图像, PSNR = 23dB。水印仍可被检测; (b) MPEG-2 对“Football”序列进行编码后对应图 4(b) 的图像, PSNR = 27dB 水印仍可被检测

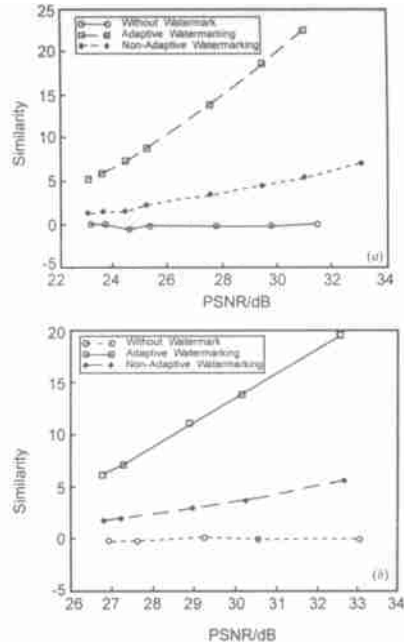


图 5 水印抗噪声干扰的稳健性。

(a) Flower garden 序列;
(b) Football 序列

对视频水印特有的失真与时域处理有关: 如时域截断, 丢帧等。由于检测时有原始序列的辅助, 可以检测到丢弃帧的位置, 只计算保留帧的平均相似度。序列在不同丢帧情况下有水印的检测结果显示于表 1。无水印时的相似度为 0。由第 3 节的分析和实验结果表明本文的水印算法对时域抽样具有很好的稳健性。

对视频水印常见的处理还有空域抽样。序列的每一帧经过亚采样后大小变为原图的 $1/4$, 也即丢掉了 75% 的信息。序列在进行了空域抽样后, 有水印时的相似性检测结果为 21.5, 无水印时为 0.22。可以看到水印对空域抽样的稳健性很好。

6 结论

由实验结果可以看到本文提出的自适应视频水印算法的稳健性明显优于非自适应算法, 对多种攻击具有较好的稳健性。该算法生成的水印视频序列与原始序列在相同的比特率下进行压缩编码时得到的重建图像的主客观质量基本无差异。也即, 嵌入水印对压缩编码时生成码流的比特率基本没有影响。本文提出的视频水印算法在水印检测过程中需要原始视频序列。

在视频水印非自适应算法中, 每一视频帧除了满足作为静止图像时的不可见性外(称为静态不可见性), 同时还要满足以一定帧率进行播放时的不可见性要求(称为动态不可见性)。在实验中我们发现, 每一帧静止区域所承载的水印强度,

表 1

丢帧数	相似值
1	65.5601
8	65.3272
16	65.8778
24	65.4456

满足动态不可见性时的值要比满足静态不可见性时的值低得多,这使得非自适应算法中的水印强度不能太高,从而使视频水印的非自适应算法的稳健性能要远远低于自适应算法的稳健性能。

本文的主要贡献有:(1)根据 2-D 小波变换系数的特点,提出将水印嵌入低频子带系数中,以获得较好的稳健性。(2)提出一种基于运动检测和纹理特征的分类方法。(3)应用上述嵌入对策和分类方法,实现了一种视频自适应水印算法,它同时考虑了帧间运动信息和帧内纹理复杂性,所实现的水印具有很好的稳健性。

参考文献:

- [1] Cox J, Killian J, Leighton F T et al. Secure spread spectrum watermarking for multimedia [J]. IEEE Trans. on Image Processing, 1997, 6 (12): 1672 - 1687.
- [2] Swanson M, Zhu B, Tewfik A. Multiresolution scene-based video watermarking using perceptual models [J]. IEEE J. Select. Area Commu., 1998, 16(4): 540 - 550.
- [3] Huang Jiwu, Shi Yun Q. An adaptive image watermarking scheme based on visual masking [J]. Electronics Letters, 1998, 34(8): 748 - 750.
- [4] Wolfgang R B, Podilchuk C I, Delp E J. Perpetual watermarks for digital images and video [J]. In: Proceedings of the IEEE, 1999, 87(7): 1108 - 1126.
- [5] Swanson M, Zhu B, Tewfik A. Data hiding for video in video [A]. In: Proc. IEEE Int. Conf. On Image Processing [C]. Piscataway: IEEE Press, 1997, 2: 676 - 679.
- [6] Swanson M, Zhu B, Tewfik A. Object-based transparent video watermarking [A]. In: Proc. 1997 IEEE Multimedia Signal Processing Workshop [C]: 369 - 374.
- [7] Deguillaume F, Csurka G, Ruanaidh J O, Pun T. Robust 3D DFT video watermarking [A]. In: IS&T/ SPIE 's 11th Anna. Symp., Electronic Imaging '99: Security and Watermarking of multimedia Contents [C]. Vol. 3657, San Jose, CA Jan. 1999.
- [8] Hartung F, Grod B. Watermarking of uncompressed and compressed video [J]. Signal Processing, 1998, 66(3): 283 - 301.
- [9] Jordan F, Kutter M, Ebrahimi T. Proposal of a watermarking technique for hiding/ retrieving data in compressed and decompressed video [S]. ISO/ IEC Doc. JTC1/ SC29/ WG11 MPEG97/ M2281, July 1997.
- [10] Langgelaar G C, Lagendijk R L, Biemond J. Real-time labeling methods for MPEG compressed video [A]. In: Proc. 18th Symp. Information Theory in the Benelux [C], Veldhoen, The Netherlands, May 1997.
- [11] 黄继武, Y Q Shi, 程卫东. DCT 域图像水印: 嵌入对策和算法 [J]. 电子学报, 2000, 28(4): 57 - 60.
- [12] Huang Jiwu, Shi Yun Q. Segmentation-based hybrid coding using luminance masking [J]. IEE Electronics Letters, 1998, 34(8): 750 - 751.
- [13] Watson A B. DCT quantization matrices visually optimized for individual images [A]. In: Proc. of SPIE: Human Vision, Visual Processing and Digital Display IV [C], 1993, 1913: 202 - 216.
- [14] Jayant N, Johnston J, Safranek R. Signal compression based on model of human perception [J]. Proceedings of the IEEE, 1993, 81(10): 1385 - 1421.
- [15] Huang W C, Chang L W. Predictive subband image coding with wavelet transform [J]. Signal Processing: Image Communication 1998(13): 171 - 181.

作者简介:



刘红梅 女. 1969 年 6 月出生于内蒙古丰镇. 理学博士, 1992 年毕业于清华大学计算机系并获得学士学位. 1996 年研究生毕业于清华大学计算机系, 获工学硕士学位. 2001 年 7 月获中山大学电子与通信系博士学位. 主要研究方向为多媒体信息处理、视频压缩编码、图像/ 视频水印技术。



黄继武 男. 1962 年 10 月出生于广东揭阳. 博士. 1982 年 1 月获西安电子科技大学学位, 1987 年 12 月获清华大学硕士学位. 1998 年 12 月获中科院自动化所博士学位. 现为中山大学电子与通信工程系教授、《中国图像图形学报》编委、IEEE 高级会员. 目前主要研究方向为信息隐藏与数字水印技术。