

# 基于双重数字水印的多媒体课件 版权申明与保护方法研究

孙旭东<sup>1</sup>, 黄若宏<sup>2</sup>

(1. 武汉工业职业技术学院, 湖北 武汉 430064; 2. 武汉新宏博科技有限公司, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 提出了基于屏幕流彩色图像空间域和DCT频域的双重数字水印自适应嵌入算法。该算法在屏幕流彩色图像的空间域自适应地嵌入可见水印, 并将二值不可见水印图像采用混沌序列加密, 自适应地嵌入到屏幕流彩色图像的DCT域, 形成含有双重数字水印的屏幕流彩色图像。系统测试结果表明, 采用该算法嵌入的可见水印比较脆弱, 适合多媒体课件的版权申明; 嵌入的不可见水印具有较强的鲁棒性, 可用于多媒体课件的版权保护。

**关键词:** 数字水印; 版权申明; 版权保护; DCT; 多媒体课件

**中图分类号:** TP301

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2011)03-0051-04

## Multimedia Courseware Copyright Notification and Protection Based on Dual Digital Watermark

Sun Xudong<sup>1</sup>, Huang Ruohong<sup>2</sup>

(1. Wuhan College of Industrial Technology, Wuhan 430064, China;  
2. Wuhan NewHB Technology Co. Ltd., Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Proposes a novel digital watermark solution for the color image of screen stream based on the spatial domain and the DCT domain. It embeds visible watermark into the spatial domain adaptively, and also embeds invisible watermark encrypted by chaotic sequence into the DCT domain to achieve protected screen color image with dual digital watermark embedded. The effectiveness and good results of this method in multimedia courseware have been testified that the visible watermark is frail to be suitable for copyright notification and the invisible watermark has good robustness for copyright protection.

**Keywords:** digital watermark; copyright notification; copyright protection; DCT; multimedia courseware

### 1 研究背景

在多媒体网络教学中, 教师授课内容主要由授

课教师的音频、视频和授课计算机屏幕流信息组成, 教师授课的音、视频流与屏幕流信息是互相独立的。教师授课内容可现场直播到网络, 用户通过网络远

收稿日期: 2011-02-15

基金项目: 国家科技型中小企业技术创新基金资助项目(09c26214204813)

作者简介: 孙旭东(1967-), 男, 湖北黄冈人, 武汉工业职业技术学院高级经济师, 硕士, 主要研究方向为应用数学,

E-mail: sxd9979@sina.com

通信作者: 黄若宏(1965-), 男, 湖北监利人, 武汉新宏博科技有限公司高级工程师, 博士, 主要研究方向为流媒体技术,

E-mail: profh@163.com

程实时收看授课内容。教师授课内容也可保存到文件,制作成多媒体教学课件供用户非实时学习。由于屏幕流信息是以图像的形式在用户的计算机屏幕上展现,未经授权的用户可能通过屏幕拷贝或屏幕录制的方式,得到多媒体课件的屏幕流信息并进行篡改。因此,多媒体课件中屏幕流信息的版权申明和版权保护比较重要。

目前,数字水印已成为一项关键技术和研究热点<sup>[1]</sup>。数字水印分可见水印和不可见水印2类,同时嵌入可见水印和不可见水印称为双重数字水印<sup>[2]</sup>。对于数字水印技术的大量研究,早期主要是基于时空域的。空间域数字水印技术,是在图像的空间域修改图像数据中不重要像素的值,以达到隐蔽数字水印的目的。变换域数字水印技术,是通过修改图像数据的变换域系数来进行数字水印信息的隐蔽。其中,LSB(least significant bit)方法是修改图像数据中不重要的比特位;Patchwork方法是随机选择 $N$ 对像素点 $(a_i, b_i)$ ,并将每个 $a_i$ 的亮度值加1,每个 $b_i$ 的亮度值减1,这样使得图像的平均亮度保持不变。常用的变换方法有:DFT(discrete fourier transform),DCT(discrete cosine transform),小波变换和KLT(karhunen-loeve transform)等。

数字水印广泛适用于音视频、图文信息等多媒体作品的版权保护,而且关于图像的数字水印算法尤其繁多<sup>[3]</sup>。随着网络技术的不断发展,知识产权保护越来越受到重视。随着信息隐蔽技术和数字水印技术研究的不断深入,数字水印技术已经成为多媒体作品数字版权保护的重要手段之一<sup>[4]</sup>。

本文针对多媒体课件的版权申明与版权保护问题,提出了一种组合的数字水印算法。该算法将水印信息分成可见部分和不可见部分,根据屏幕流彩色图像中相关子块像素值取值特点,在空间域自适应地嵌入可见水印,以实现版权申明功能;同时在离散余弦变换(DCT)域自适应地嵌入不可见水印,以实现版权保护功能。通过在多媒体课件的屏幕流彩色图像中嵌入包含可见水印和不可见水印的双重数字水印,以实现多媒体课件版权申明和版权保护功能。

## 2 多媒体课件中的屏幕流

多媒体课件中的屏幕流信息,由一系列具有时间关联的连续静止彩色图像组成。显示绘图阵列(video graphic array, VGA)支持在 $640 \times 480$ 的较高分辨率下同时显示16种色彩或256种灰度;在 $320 \times$

240分辨率下可同时显示256种颜色。SVGA模式通过提高显示内存使其支持更高分辨率,如: $800 \times 600$ , $1024 \times 768$ 或 $1280 \times 1024$ 以及更高。由于每一帧图像的容量较大,在局域网和广域网上进行实时和非实时传输较困难,因此屏幕图像的帧间和帧内分别采用异或运算并采用Zlib<sup>[5]</sup>无损压缩算法压缩,生成多媒体课件的屏幕流信息。

## 3 数字水印的生成

### 3.1 可见数字水印

为了便于按 $8 \times 8$ 的大小进行不重叠分块,可见水印的宽度和高度选用8的倍数。由于屏幕流彩色图像的尺寸一般不小于 $800 \times 600$ ,而且可见水印主要用于版权申明,因此本文选用大小为 $176 \times 56$ 含版权信息的二值图像作为可见水印图像。

### 3.2 不可见数字水印

混沌序列对初始值很敏感,因此安全性很强,它的低通特性可较好地抵抗低通滤波或JPEG压缩攻击。用于水印生成的混沌方法主要有Logistic映射、Chebyshev映射、Reny映射和花托自同构(toral automorphisms)。本文选用基于Logistic映射的数字水印生成方法,Logistic映射的定义如下:

$$s_{i+1} = \lambda s_i (1 - s_i), \quad i = 0, 1, 2, \dots, \quad (1)$$

式中: $i=0, 1, 2, \dots$ ;  $s_0$ 是初始值, $0 < s_0 < 1$ ;  $\lambda$ 为分叉参数, $\lambda \in [1, 4]$ 。

Logistic映射的定义比较简单,但具有较复杂的动力学行为,其过程随 $\lambda$ 值的变化而激烈变化。当 $\lambda=4$ 时,Logistic映射即为三角帐篷映射:

$$s_{i+1} = 4s_i(1 - s_i),$$

也可表示为

$$s_{i+1} = \begin{cases} 2s_i, & 0 \leq s_i \leq 0.5; \\ 2 - 2s_i, & 0.5 \leq s_i \leq 1. \end{cases} \quad (2)$$

三角帐篷映射是处于混沌状态的动力系统,这时由迭代得到的序列是非周期的和非收敛的,而且对初值极为敏感,具有白噪声的统计特性。本文选择初始值 $s_0=0.369$ ,根据不可见二值水印图像转换成的向量长度,按照式(2)自动产生等长度的混沌实数序列,并采用阈值门限法<sup>[6]</sup>对产生的混沌实数序列进行二值化,如式(3):

$$K_i(s_i) = \begin{cases} 0, & s_i < 0.5; \\ 1, & s_i \geq 0.5. \end{cases} \quad (3)$$

将不可见二值水印图像转换成向量,并与二值混沌实数序列进行异或运算,即得到加密的不可见水印向量。

## 4 数字水印嵌入算法

### 4.1 可见水印自适应嵌入算法

选取从屏幕流图像左上角开始并与可见水印尺寸相同的区域,作为可见水印嵌入的图像区域,记作 $R_v$ 。将 $R_v$ 彩色图像转换成灰度图像,并将得到的灰度图像和可见水印分别按照每个子块 $8 \times 8$ 的大小进行不重叠分块,计算灰度图像各子块的方差,其中的最大值和最小值分别为 $v_{\max}$ 和 $v_{\min}$ 。记 $R_v$ 灰度图像子块 $B_{mn}$ 的方差为 $v_{\min}$ ,则按式(4)计算归一化方差:

$$\alpha_{mn} = (v - v_{\min}) / (v_{\max} - v_{\min}) \quad (4)$$

假设 $P_{ij}$ 为子块 $B_{mn}$ 中位置 $(i, j)$ 处的像素值, $P_{ij}^w$ 为该子块中位置 $(i, j)$ 处含可见水印的像素值, $w_{ij}$ 为可见水印在位置 $(i, j)$ 处的像素值,则按式(5)在该子块中位置 $(i, j)$ 处的空间域嵌入可见水印。

$$P_{ij}^w = \begin{cases} P_{ij}, w_{ij} = 255; \\ \text{Round}[P_{ij} + k(1 - \alpha_{mn})P_{ij}], w_{ij} = 0. \end{cases} \quad (5)$$

式中: $k$ 为可见水印嵌入的强度因子。

为增强可见水印的脆弱性,本文取 $k=0.02$ 。

### 4.2 不可见水印自适应嵌入算法

1) 不可见水印的嵌入区域。由于可见水印图像的尺寸远小于屏幕流图像的尺寸,为避免与可见水印嵌入区域互相干涉,选择从屏幕流灰度图像中,可见水印右下角位置开始的剩余区域为不可见水印嵌入区域,该区域记作 $R_{iv}$ 。

2) 按人类视觉系统(HVS)特性的块分类。在不可见水印嵌入之前,对不可见水印嵌入区域进行不重叠分块。先将所有小块根据纹理进行分类,再对各小块进行DCT变换,结合纹理分类的结果将载体图像的小块分成3类:第一类,具有低亮度和简单纹理的块,嵌入的水印量较小;第二类,具有适中亮度或纹理复杂程度适中的块,嵌入的水印量适中;第三类,具有高亮度和复杂纹理的块,嵌入的水印量较大。利用HVS特性可自适应地选取不同的嵌入强度因子,以获得更好的视觉掩蔽性。

记 $R_{iv}$ 灰度图像在子块 $B_{mn}$ 的平均灰度为 $g_{mn}$ , $\delta_{mn}$ 是子块 $B_{mn}$ 的DCT系数方差,则:

$$\delta_{mn} = \frac{1}{8 \times 8} \sum_{(i,j) \in B_{mn}} [P(i,j) - g_{mn}]^2 \quad (6)$$

式中: $P(i, j)$ 为子块 $B_{mn}$ 中位置 $(i, j)$ 处的像素值。

假设4个阈值分别为 $T_1, T_2, T_3, T_4$ ,按如下规则进行块分类:

如果 $g_{mn} < T_1$ ,且 $\delta_{mn} < T_2$ ,则 $B_{mn}$ 属于第一类:亮度低,纹理简单;如果 $T_1 \leq g_{mn} \leq T_2$ ,或 $T_3 \leq \delta_{mn} \leq T_4$ ,

则 $B_{mn}$ 属于第二类:亮度适中或纹理复杂程度适中;如果 $g_{mn} > T_2$ ,且 $\delta_{mn} > T_4$ ,则 $B_{mn}$ 属于第三类:亮度高,纹理复杂。

3) 不可见水印自适应嵌入。将 $R_{iv}$ 按照每个子块 $8 \times 8$ 的大小进行不重叠分块,对每个子块进行DCT变换,并分别计算每个子块灰度均值和DCT系数方差。为兼顾鲁棒性和透明性,既满足彩色图像的不可感知性,又满足对失真压缩等操作的鲁棒性,根据离散余弦变换后的参数特性,低频系数具有较大的值,对图像的质量和视觉效果影响较大,高频系数较易被低通滤波去掉,稳定性不好,所以选择中频分量并用加密的不可见数字水印序列对其进行调制。以ZigZag方式对变换后的图像频率系数排列成向量 $\mathbf{Y} = \{y_1, y_2, \dots, y_{n \times n}\}$ ,取出 $\mathbf{Y}$ 序列中第 $l+1$ 到 $l+m$ 的中频系数部分,组成向量 $\mathbf{Y}_l = \{y_{l+1}, y_{l+2}, \dots, y_{l+m}\}$ 。 $\mathbf{W} = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}$ 是加密的不可见水印序列。用 $\mathbf{W}$ 对 $\mathbf{Y}$ 序列中中频系数部分的值按式(7)进行修改:

$$y'_i = \begin{cases} y_i, & i < l \text{ 或 } i > l+m; \\ y_i(1 + \beta w_i), & l \leq i \leq l+m. \end{cases} \quad (7)$$

式中: $\beta$ 为拉伸因子,根据Weber定律, $\beta w_i$ 理论上应小于0.02;对于第一、二、三类不同的子块, $\beta$ 的取值分别为0.005 0, 0.007 5, 0.010 0。

经过修改的DCT系数序列 $\mathbf{Y}' = \{y'_1, y'_2, \dots, y'_{n \times n}\}$ ,以ZigZag(Z字形)方式对变换后的图像频率系数排列成向量,按照原来的顺序逆向重组,再分块进行IDCT逆变换,得到含有不可见数字水印的 $R_{iv}$ 灰度图像。分别以屏幕流彩色图像转换成灰度图像时的色度值作为 $U$ 分量和 $V$ 分量,以包含可见水印和不可见水印的灰度图像的灰度值作为 $Y$ 分量,即可将包含可见水印和不可见水印的灰度图像转换成包含双重数字水印的彩色图像。

### 4.3 不可见水印的检测

将 $R_{iv}$ 彩色图像转换成灰度图像,将得到的灰度图像按照每个子块 $8 \times 8$ 的大小进行不重叠分块,并对每个子块分别进行DCT变换,计算每个子块的平均灰度和DCT系数方差,通过对每个子块分类来确定拉伸因子 $\beta$ 。以ZigZag方式将DCT系数排列成向量 $\mathbf{Y}' = \{y'_1, y'_2, \dots, y'_{n \times n}\}$ 。取出 $\mathbf{Y}'$ 中第 $l+1$ 到 $l+m$ 的中频系数 $\mathbf{Y}'_l = \{y'_{l+1}, y'_{l+2}, \dots, y'_{l+m}\}$ 。根据式(7)逆运算检测出加密的水印序列 $\mathbf{W}' = \{w'_1, w'_2, \dots, w'_m\}$ 。

依照初始值 $s_0 = 0.369$ 产生混沌加密序列,并用阈值门限法获得二值化的混沌序列,与 $\mathbf{W}'$ 进行异或运算,得到解密的不可见水印序列

$W'' = \{w_1'', w_2'', \dots, w_m''\}$ 。原始的不可见水印序列 $W$ 和 $W''$ 的归一化相关系数按式(8)进行计算:

$$z = \text{cov}(W, W'') = \frac{\sum_{i=1}^m (P_i P_i'')}{\sqrt{\sum_{i=1}^m P_i^2 \sum_{i=1}^m (P_i'')^2}}, \quad (8)$$

式中:  $P_i = w_i - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m w_i$ ;

$$P_i'' = w_i'' - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m w_i'', \quad 1 \leq i \leq m。$$

根据计算的归一化相关系数 $z$ 与指定的阈值 $N_c$ 进行比较, 如果 $z \geq N_c$ 则表明检测到不可见水印信息, 否则表明未检测到不可见水印信息。文中取 $N_c=0.50$ 。

### 5 实验与结果分析

测试系统由教师授课计算机屏幕图像采集模块、录制合成模块、直播服务模块以及客户端接收模块组成。用于将教师授课现场信息, 包括教师授课音频、视频、授课计算机屏幕变化信息(包含鼠标运动轨迹信息)进行采集合成, 同步录制保存到磁盘, 形成多媒体课件供学生非实时学习。

测试时屏幕流图像采用 $1024 \times 768$ 分辨率和24位色彩的彩色图像。可见水印采用大小为 $176 \times 56$ 的二值图像, 不可见水印是 $48 \times 48$ 的二值图像, 混沌序列的初值设为0.369。为了不占用过多篇幅, 屏幕流图像只显示左上角 $230 \times 180$ 的区域。原始屏幕流彩色图像, 未受攻击的含双重水印的彩色屏幕流图像和椒盐噪声处理后含双重数字水印的图像等如图1所示。分别采用如下方式进行模拟攻击。

1) 对包含双重数字水印的屏幕流彩色图像进行相应的平滑处理, 可见水印没有遭到严重破坏, 还能鉴别出来。

2) 在包含双重数字水印的屏幕流彩色图像中加入椒盐噪声干扰, 可见水印几乎无法辨认, 此时检查不可见水印的归一化相关系数为0.9435, 说明可见水印遭到破坏后, 还能够检测出不可见水印的信息。

3) 对包含双重数字水印的屏幕流彩色图像进行JPEG压缩, 当QF为75%时, 可见水印能够辨认, 不可见水印的归一化相关系数为0.9935。

4) 对包含双重数字水印的屏幕流彩色图像进行高斯低通滤波和中值滤波, 可见水印并没有遭到严重的破坏, 还能够鉴别出来, 不可见水印的归一化相关系数分别为0.8654和0.9154。



图1 屏幕流彩色图像嵌入双重数字水印测试图像  
Fig. 1 Test images of dual watermark and screen stream

### 6 结语

多媒体课件中屏幕流图像, 是以流的形式保存  
(下转第85页)