

用于彩信业务版权保护的图像水印^{*}

梁华庆^{1,2}, 陈秀新², 张立和¹, 伍宏涛¹, 杨 成¹, 杨义先¹

(1. 北京邮电大学信息安全中心, 北京 100876;

2. 石油大学(北京)电子信息工程系, 北京 102249)

摘 要: 为了解决目前彩信业务中移动数字内容的版权保护、使用控制及计费管理, 提出了基于数字水印的版权保护与管理系统方案 WDRM (watermark based digital rights management)。设计了一种鲁棒的数字图像水印算法, 以两个独立的水印, 分别代表图片提供商信息和网络运营商信息; 以待嵌入的信息为种子, 产生具有良好自相关特性的随机序列作为水印信号, 并根据人类视觉系统 HVS (human vision system) 的特性, 对原始图像块进行分类, 根据分类的结果将水印信号以不同的强度嵌入到图像块的 DCT 中频系数上; 通过计算相关值来提取水印。实验结果表明, 该水印算法能抵抗典型的图像处理, 如加噪、滤波、压缩、增删线条或字等, 基本满足当前彩信业务的要求。

关键词: 彩信业务; 版权保护; HVS; 数字水印

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) S2-0124-04

随着以中国移动彩信、中国联通“彩 e”为代表的 MMS 业务的开展, 移动用户可以获得的内容已经不仅仅是简单的文字信息, 还有图片、铃声、动画, 甚至移动游戏、MP3、视频节目等。由于数字内容易于复制, 因此如何对移动数字内容进行版权保护, 对数字内容的使用与转发进行控制和计费, 以保护运营商和内容提供商的利益, 成为一个日益迫切需要解决的问题。

开放移动联盟 (open mobile alliance, OMA) 制定的 DRM (digital rights management) 标准得到了广泛的支持和认可。OMA 提出的 DRM 解决方案需要终端手机的支持^[1-5], 但是目前绝大多数用户的手机没有 DRM 功能, 显然让这些用户更换手机是不现实的也是不可能的。由于数字水印技术在版权保护方面具有独特性能, 数字内容在被嵌入版权水印信息后, 不影响正常的使用, 为此, 提出基于数字水印的 DRM 解决方案, 简称 WDRM。

WDRM 体系结构如图 1 所示。WDRM 系统的核心为版权管理中心, 负责对数字内容进行版权注册、检测和管理, 使用鲁棒的数字水印等技术将版权信息嵌入到数字内容中, 形成包含版权信息的数字内容; 根据数字内容建立相应的版权规则, 用于控制对该数字内容的使用, 如权限、约束等。数字内容分发系统根据用户对数字内容的请求, 通过版

权检测过程, 针对不同的商业模式, 确定用户对数字内容的使用权限、约束等版权规则。若不满足规则要求, 则拒绝用户请求; 否则, 按照版权规则将数字内容提交给用户, 并通过版权控制对版权规则进行调整、计费及跟踪对数字内容的使用。用户在转发含有版权信息的数字内容时, 提出转发请求, 版权检测过程检测其包含的数字版权信息, 并根据对应的计费方式对发送方进行计费, 然后将数字内容转发给接收方, 同时向发送方给出版权收费通知。

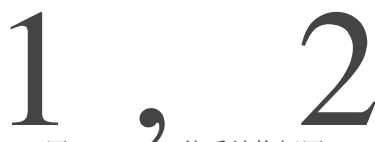


图 1 WDRM 体系结构框图

Fig 1 Structure of the watermark based digital rights management system

本文设计了一种鲁棒的数字图像水印, 用于彩信图片版权保护和计费管理。由于彩信图片尺寸较小 (多数为 101×80), 水印的嵌入容量很有限。为了保证水印的不可见性, 嵌入的容量和强度不能太大; 但用于彩信业务的图像水印要求有一定的嵌

* 收稿日期: 2004-09-11

基金项目: 北京市自然科学基金资助项目 (4042022); 华为“数字水印算法开发包委托开发”资助项目

作者简介: 梁华庆 (1964 年生), 女, 教授; E-mail: hqliang1001@263.net

入量和很强的鲁棒性，能抵抗加噪、滤波、压缩、缩放等攻击。为此，本文从水印结构、嵌入算法和提取方法三方面的设计来提高水印的嵌入量和鲁棒性。以待嵌入的信息位为种子，产生具有良好自相关特性的随机序列作为水印信号；根据 HVS 特性，对原始图像块进行分类，根据分类的结果将水印信号以不同的强度嵌入到图像块的 DCT 中频系数上；通过计算相关值来提取水印。印测试结果表明，本文设计的水印算法具有很强的鲁棒性，基本满足彩信业务的要求。

1 基于 HVS 的图像块分类^[9]

研究表明，HVS 对于一幅图像的每个区域的敏感度是不一样的。HVS 对于亮度变化大的区域的敏感度要大于亮度变化小的区域。前者称为“高信息量区域”，后者称为“低信息量区域”。进一步研究表明，在“高信息量区域”中，HVS 对亮度突然变化的区域最敏感，这些区域往往是图像中包含信息量最大，对人们的理解最为重要的部分，故称之为“关键区域”；而具有规则变化的区域（如窗帘、头发等），人眼会产生一定的适应性，以至于很容易在人的意识中遗忘，这些区域包含的内容意义并不大，对图像理解不起决定性作用，称之为“随机纹理区域”。为此将图像块划分为上述三类，随机纹理区域的嵌入强度可较大；低信息量区域的嵌入强度次之；关键区域的嵌入强度应最小。

1.1 基于亮度变化率的第一次分类

一幅图像中，某一个子块，其平均亮度可以通过下式求得：

$$L_m = \sum_{i=1}^n l_i / n \quad (n \geq 1) \tag{1}$$

其中， l_i 表示每个像素的亮度分量值， n 表示子块 m 中像素的数量。2 个相邻像素亮度分量 l_i, l_j 之差的绝对值称为 2 个像素间的亮度变化，用变量 D 表示：

$$D_{i,j} = |l_i - l_j| \tag{2}$$

所有相邻像素亮度变化 D 的总和与该区域中所含像素总数 n 的比，称为该子块的亮度变化率，用变量 C_m 示：

$$C_m = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n D_{i,j} / n \tag{3}$$

亮度变化率 C_m 反映了图像子块内部亮度变化的大小和快慢，计算出每个子块的 C_m 后，就可以根据设定的阈值 T_1 将图像划分成“低信息量区域”（ $C_m < T_1$ ）和“高信息量区域”（ $C_m > T_1$ ）。

1.2 基于亮度相对变化率的第 2 次分类

根据图像中区域的内部特征对图像进行了初次分类后，再根据区域间特性的差异，对图像进一步分类。

一幅图像中，某一个子 m 块与其所有相邻子块的亮度变化率之差的均方根，称为该子块 k 的亮度平均变化率，用变量表示。这里相邻的子块有 8 个， R_m 可以由下式求得：

$$R_m = \sqrt{\sum_{k=1}^8 (C_k - C_i)^2} / 8 \tag{4}$$

子块 m 的亮度平均变化率 R_m 与该区域的平均亮度 L_m 的比值，称为该子块的亮度相对变化率，用变量 V_m 表示：

$$V_m = R_m / L_m \tag{5}$$

V_m 反映了该子块与周围子块在亮度变化上的差异。计算出 V_m 后，根据设定的阈值 T_2 可将图像划分成“随机纹理区域”（ $V_m < T_2$ ）和“关键点区域”（ $V_m > T_2$ ）。

2 数字图像水印算法

2.1 水印结构设计

以双水印结构，分别代表图片提供商信息和网络运营商信息，信息最长为四字节，两个水印的嵌入和提取要相互独立。

第一个水印由水印同步头、水印类别、水印长度和图片提供商信息组成。具体构成如下：

(1) 水印同步头（1~16 bit），同步字为：0×164F

(2) 水印类别（17~18 bit），内容如下：

- 00 为未使用
- 01 为嵌入第一个水印
- 10 为嵌入第二个水印
- 11 为同时嵌入第一个和第二个水印

(3) 水印信息长度（19~20 bit），内容如下：

- 00 为一字节
- 01 为二字节
- 10 为三字节
- 11 为四字节

(4) 水印信息内容（21 bit~结尾）

第 2 个水印由水印长度和网络运营商信息组成。嵌入第 2 个水印的同时要修改第一个水印的水印类别为 11。

2.2 水印序列的产生

第一个水印，长度最长为 52 bit 二进制，转成 13 位十六进制，以每位十六进制数为种子，产生

13 组伪随机序列作为最终水印; 第 2 个水印, 长度最长为 36 bit 二进制, 转成 9 位十六进制, 以每位十六进制数为种子, 产生 9 组伪随机序列作为最终水印。随机序列的长度由彩信图片大小计算得出。

2.3 水印的嵌入

嵌入的步骤如下:

(1) 首先对原始图像 $f(i, j)$ 做 8×8 分块 DCT, 得到 8×8 的 DCT 系数;

(2) 选择表 1 阴影部分所示中频系数嵌入第一个水印, 每个 8×8 小块嵌入 5 bit 信息;

设 B_i 代表要嵌入的第 i 位比特信息, A_{i1} 、 A_{i2} 、 A_{i3} 代表嵌入 B_i 的相邻的 3 个 DCT 中频系数, 具体的嵌入算法为:

当 $B_i = 1$ 时, $A_{i2} = (A_{i1} + A_{i2} + A_{i3}) \div 3 + P$

当 $B_i = 0$ 时, $A_{i2} = (A_{i1} + A_{i2} + A_{i3}) \div 3 - P$

其中 P 为嵌入强度。根据块分类结果确定大小, 本文中, 关键区域的 $P = 5$, 随机纹理区域的 $P = 15$, 低信息量区域 $P = 10$ 。

表 1 水印嵌入位置									
Tab.1 The positions of the watermark embedding									
							A11	A12	
							A31	A21	A13
							A33	A32	A22
							A51	A52	A42
							A53	A43	A41
							A21	A11	A53
							A23	A22	A12
							A41	A42	A32
							A43	A33	A31

(3) 选择表 1 所示的其余中频系数嵌入第 2 水印, 每个 8×8 小块嵌入 4 bit 信息, 同时修改水印类别为 11。具体的嵌入算法同第一个水印;

(4) 为提高鲁棒性, 将每组随机序列如上重复嵌入 4 次;

(5) 将嵌入水印的数据块做 DCT 反变换, 重新组合得到含有水印的图像 $f_w(i, j)$ 。

2.4 水印的提取

提取步骤如下:

(1) 将含水印图像按 8×8 分块, 进行 DCT;

(2) 根据表 1, 按照如下算法提取第一个水印;

如果: $A_{i2} \geq (A_{i1} + A_{i2} + A_{i3}) \div 3$

则: $B_i = 1$

否则: $B_i = -1$

(3) 把提取的每位信息的 4 次结果进行平均, 确定嵌入的比特信息 B'_i ;

(4) 分别以 ‘0’ ~ ‘15’ 十六进制数为种子, 产生 16 组原始随机序列 B ; 利用公式 $\text{Sim}(B, B') = B' \times B / \sqrt{B \times B}$, 计算提取出的随机序列 B' 与 16 组原始随机序列的相关值, 由于随机序列的自相关值比互相关值大的多, 自相关期望值和二进制随机序列长度的平方根成正比, 互相关值一般不超过 4, 因此根据计算的相关值大小即可确定嵌入的十六进制数。再将其转换成原始的二进制水印信息。

(5) 根据提取的水印类别进行判断, 如果是嵌入了 2 个水印, 则按上述方法提取第 2 个水印。

3 测试结果

使用了 50 幅大小为 101×80 的 bmp 彩信图片进行鲁棒性测试。用 photoshop 对加入水印后的图片进行各种攻击, 然后提取水印, 结果见表 2。

表 2 各种攻击测试结果				
Tab.2 The results of the tests with attacks				
攻击方式		测试结果		
加噪	均匀	Amount=7%	8%	9%
	噪声	错检率=0%	0%	10%
	高斯	Amount=5%	6%	7%
	噪声	错检率=0%	0%	20%
高斯模糊		Radius=0.1	0.2	0.3
		错检率=0%	0%	0%
1:2 缩放		错检率=0%		
JPEG 压缩		Quality=6	7	
		错检率=0%	0%	
全选拷贝		错检率=0%		
增删线条或字		错检率=0%		
空间位移(剪切后再粘贴到该图片其他位置)		剪切块 $\leq 11\%$ 时, 错检率=0% 剪切块 $\geq 20\%$ 时, 错检率 $\geq 50\%$		
裁剪(剪切后不再粘贴)		剪切块 $\leq 25\%$ 时, 错检率=0%; 剪切块 $\geq 35\%$ 时, 错检率 $\geq 60\%$		

表中的“错检率”是指提取出的水印有误比特的图片在 50 幅图片中的比例。

测试结果表明, 该算法具有很好的“不可见性”和“鲁棒性”, 基本满足彩信业务要求, 用标准 C 语言开发的“多种媒体格式 (Wav, Midi, Mpeg2, Mpeg4, Jpeg, Bmp) 的数字水印算法软件包”, 目前已经交由华为公司进行试运行测试。

参考文献：

[1] OMA—Download—ARCH—v1-0—20020610— a. <http://www.openmobilealliance.org>

[2] OMA—Download—DRMCF—v1-0—20030619— c. <http://www.openmobilealliance.org>

[3] OMA—Download—DRM REL—v1-0—20020913— a. <http://www.openmobilealliance.org>

[4] OMA—Download—DRM—v1-0—20020905— a. <http://www.openmobilealliance.org>

[5] OMA—ERELD—DRM—V1-0—20021104— c. <http://www.openmobilealliance.org>

[6] JAYANT N, JOHNSTON J, SAFRANEK R. Signal compression based on models of human perception [J]. Proceeding of the IEEE, 1993, 81(10): 1385—1422.

Robust Image Watermarking Scheme and Its Application in MMS

LIANG Hua qing^{1,2}, CHEN Xiu xin², ZHANG Li he¹, WU Hong tao¹, YANG Cheng¹, YANG Yi xian¹
(1.Information Security Center, Beijing University of Posts and Telecommunication, Beijing 100876, China;
2.Department of Electronic and Information Engineering, University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: Watermark based digital rights management (WDRM) system is proposed to protect the copyright of mobile digital contents and solve the problem of interest distribution between network operators and content providers in MMS (Multimedia Messaging Service) . A robust image watermark scheme is developed. Two independent watermarks are embedded which represent the messages of content providers and network operators repectively. The original image is segmented into 8×8 blocks and the watermarks are embedded by modifying the mid band DCT coefficients of the image blocks with different strengths according to the characteristics of Human Vision System (HVS) . This scheme gets a good balance between the invisibility and robustness. The experimental results demonstrate that the embedded watermark is robust against many common images processing such as noising, filtering, compression and adding words or lines.

Key words: MMS; copyright protection; HVS; digital watermarking