

基于混沌特性的小波数字水印技术及实现^{*}

傅德胜¹ 孙文静² 张小飞¹

(南京信息工程大学计算机学院 南京 210094)¹ (南京理工大学计算机学院 南京 210094)²

摘要 本文讨论了利用混沌序列对图像信号加密和解密的方法,提出了基于混沌特性的小波数字水印技术,具体包括水印嵌入算法与实现步骤、水印提取原理与过程、算法参数分析等;设计了基于混沌特性的小波数字水印仿真系统并进行了相关实验。结果表明,本文提出的数字水印技术具有良好的隐藏性、稳定性和鲁棒性。水印检测时不需要原始载体和原始水印图像,是一种比较理想的变换域盲水印算法。

关键词 数字水印,混沌序列,变换域,彩色图像

Chaos-based Wavelet Digital Watermarking Algorithm Implementation

FU De-sheng¹ SUN Wen-jing² ZHANG Xiao-fei¹

(Computer School, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)¹

(Computer School, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)²

Abstract This paper discusses the way to encrypt and decrypt graphic signal by chaos sequence theory. It provides the technology of wavelet-chaos digital watermarking algorithm, including digital watermark embedding algorithm and implementation steps, watermark extraction process and analysis of algorithm parameters. It designs the simulation system on wavelet-chaos digital watermarking algorithm and carries out some experiments on it. The results show that this digital watermark technique has the nature of concealment, stability and robustness. It doesn't need the original vector and the original watermarking graphic. It is a good blind watermarking algorithm in transform domains.

Keywords Digital watermarking, Chaos sequence, Transform domains, Color image

1 引言

近年来人们提出了多种数字水印方案。如 L. F. Turner^[1]与 R. G. van Schyndel^[2]等人先后利用最低有效位算法(LSB)将特定标记隐藏于数字音频和数字图像内; Brassil 等人提出在通用文档图像(PostScript)中隐藏特定二进制信息^[3],该算法通过轻微调整文档的垂直移动行距、水平调整字距、调整文字特性(如字体)等完成编码; Bander 等人提出一种基于统计数据的水印嵌入方案,即 Patchwork 方法^[4],该方法任意选择 N 对图像点,在增加一点亮度的同时,相应降低另一点的亮度值,通过这一调整过程完成水印的嵌入; Cox 在文献^[5]中提出了类比于通信系统的水印模型:水印信号作为传输的信号,原图像信号作为干扰信号; Podilchuk 和 Zeng 利用 A. B. Waton 提出的基于 8×8 子块的 DCT 变换的视觉模型,提出了图像内容自适应的水印方法(IA_DCT)^[6],该方法利用了图像对视觉的三个屏蔽效应:频率遮蔽(frequency masking)、亮度遮蔽(luminance masking)、对比度遮蔽(contrast masking),计算出每一个子块的 DCT 系数中可以改变的量(just noticeable difference),并以其作为可以嵌入水印信号的强度的上限。凡此种种,不一而足。

本文根据混沌序列对图像信号加密和解密的方法,提出一种针对彩色图像的盲检测数字水印算法,即基于混沌特性的小波数字水印技术。它将水印嵌入到彩色图像中,嵌入水印的能量自适应于图像本身,在水印检测时不需要原始载体和原始水印图像,是一种变换域盲水印算法。

2 利用混沌序列对图像信号加密和解密

利用一维 Logistic 映射,以参数 $k=4.00000$,初始值为 $x_0=0.1$ 产生的混沌序列作为密钥流对彩色图像进行加密。密钥包括两个方面:参数 k 和初始条件 x_0 ;混沌序列的位置、方法以及加密强度,例如可以从第 n 个混沌序列开始依次采用小数点后 3 位作为有效序列,也可以从第 $2n$ 个混沌序列开始每隔 3 个混沌序列采用一次并取小数点后 6 位作为有效序列。密钥流产生器为 Logistic 映射混沌系统,密钥流为混沌序列,原文为原彩色图像,密文为加密后的彩色图像,采用逐位模 2 加算法实现加密。仿真实验证明,利用混沌序列加密后的图像(图 1(b))与原图(图 1(a))比较,混沌信号完全掩盖了图像信号,保密性很强。



(a) 原图

(b) 加密后图像

图 1 利用混沌序列加密图像示例

解密系统利用同样参数和初始条件的 Logistic 映射产生

^{*}江苏省产业技术研究与开发基金,苏发改高技发[2006]1106号。傅德胜 教授,博士生导师,主要研究方向为信息安全;孙文静 博士生,研究方向为计算机网络;张小飞 研究生,研究方向为信息安全。

的混沌序列对已经加密的图像进行解密。统计结果显示,解密后的图像与加密前的原图像完全一样,效果非常好^[7]。

混沌序列具有周期无限长、频谱宽等类似白噪声的特性,是理想的密码序列。它与 Hilbert 变换置乱、Arnold 变换置乱、幻方、Conway 游戏、Gray 变换等传统的密码置乱方法和其它密码序列比较^[8],具有以下优点:

- (1)良好的自相关性和互相关性,可以产生大量的不同随机码序列。
- (2)速度快、存储空间要求小,有利于实时性。
- (3)密钥内容丰富。

3 彩色模型

对于某颜色 C ,可用色系数 x, y, z 和三个基本量 X, Y, Z 表示如下:

$$C = xX + yY + zZ \quad (1)$$

其中,色系数 x, y, z 分别为:

$$\begin{cases} x = \frac{X}{X+Y+Z} \\ y = \frac{Y}{X+Y+Z} \\ z = \frac{Z}{X+Y+Z} \end{cases} \quad (2)$$

给定一幅彩色图像,每一个 RGB 像素转换为 H, S, I 分量可用下面的公式得到:

$$\begin{cases} I = \frac{R+G+B}{3} \\ S = 1 - \frac{3[\min(R, G, B)]}{R+G+B} \\ H = \begin{cases} 0, B \leq G \\ 360 - \theta, B > G \end{cases} \end{cases} \quad (3)$$

其中

$$\theta = \arccos \left\{ \frac{(R-G) + (R-B)}{2[(R-G)^2 + (R-B)(G-B)]^{1/2}} \right\} \quad (4)$$

若把 S, I 分量归一化为 $[0, 1]$ 范围内,然后根据 H 分量值的范围即可求出对应的 RGB 值。

(1)若 $0 \leq H < 120$, 则

$$\begin{cases} B = I(1-S) \\ R = I \left[1 + \frac{S \cos H}{\cos(60-H)} \right] \\ G = 3I - (R+B) \end{cases} \quad (5)$$

(2)若 $120 \leq H < 240$, 则

$$\begin{cases} H = H - 120 \\ R = I(1-S) \\ G = I \left[1 + \frac{S \cos H}{\cos(60-H)} \right] \\ B = 3I - (R+G) \end{cases} \quad (6)$$

(3)若 $240 \leq H < 360$, 则

$$\begin{cases} H = H - 240 \\ G = I(1-S) \\ B = I \left[1 + \frac{S \cos H}{\cos(60-H)} \right] \\ R = 3I - (G+B) \end{cases} \quad (7)$$

4 基于混沌特性的小波数字水印技术

4.1 水印嵌入

基于混沌特性的小波数字水印嵌入过程如图 2 所示。

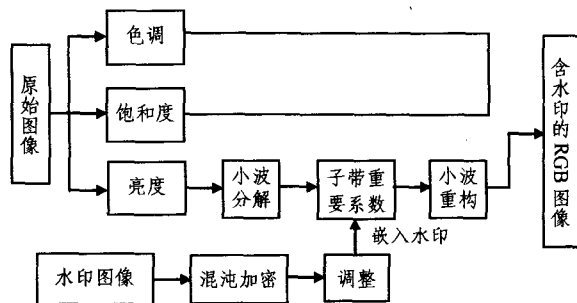


图2 水印嵌入过程

假设原始水印为 ω_h , 预处理后的水印为 ω_h^* , 原始图像为 f_i , 嵌入水印后的图像为 f_i' 。给定两个阈值 T_1 和 T_2 , 并且有 $T_2 > T_1 > \alpha C_{\max}$ 。其中 C_{\max} 是选定的小波变换域子带组中小波系数的最大值, 且 $0.2 < \alpha < 0.4$ 。则水印嵌入步骤如下:

(1)将原始彩色图像 f_i 从 RGB 彩色空间转换至 HIS 彩色空间, 将其分解为色调、色饱和度和亮度 3 种成分, 并对亮度分量进行三层二维小波分解, 依次选择 $LL3, HL3, LH3, HH3, HL3, HL2, LH2, HH3 \dots$ 各个子带, 然后选取满足 $T_1 < |C_k| < T_2$ 的系数 $C_k (k=1, 2, \dots, N)$ 作为嵌入对象, 即嵌入区间为 $[T_1, T_2]$ 。

(2)对原始水印图像 ω_h 采用混沌算法进行加密, 加密后水印序列为 ω_h^* 。

(3)采用式(10)改变加密后的水印序列 ω_h^* , 使其从原始的序列值范围 $[A, B]$ 变化到选定的范围 $[T_1 + \beta C_{\max}, T_2 - \beta C_{\max}]$, 且 $0.001 < \beta < 0.01$ 。生成实际嵌入序列 ω_h^{**} 。A, B 分别为原始的序列值的最大、最小值(若水印图像为 8 位灰度图像, 可以将 A 设为 0, B 设为 255)。

$$\omega_h^{**} = \frac{\omega_h^* (T_2 - T_1 - 2\beta C_{\max}) - A(T_2 - \beta C_{\max}) + B(T_1 + \beta C_{\max})}{B - A} \quad (10)$$

(4)用步骤(3)生成的实际嵌入序列 ω_h^{**} 取代步骤(1)选择的小波子带系数 $C_k (k=1, 2, \dots, N)$ 。

(5)对嵌入后的亮度分量小波系数进行三层二维小波重构, 得到嵌入后的亮度成分。

(6)结合色调、色饱和度和亮度三种成分将其从 HIS 空间转换到 RGB 空间, 构成嵌入水印的彩色图像 f_i' 。

4.2 水印的提取

水印图像提取过程如图 3 所示。

假设含有水印的图像为 f_i' , 提取出还未作调整的水印为 ω_h^{**} , 调整后的水印为 ω_h^* , 最终提取的水印为 ω_h 。给定的两个阈值 T_1, T_2 以及 C_{\max}, A, B , 参数 α , 参数 β 同 3.1 节。提取水印的具体步骤如下:

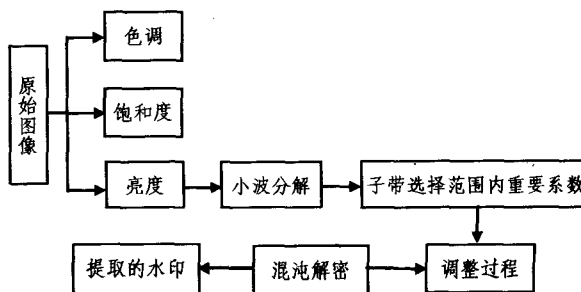


图3 水印提取过程

(1)将含有水印的 RGB 图像 f_i 从 RGB 彩色空间转换至 HIS 彩色空间并对亮度进行三层二维小波分解,依次选择 $LL3,HL3,LH3,HH3,HL2,LH2,HH3,\dots$ 各个子带,然后选取在区间范围 $[T_1 + \frac{\beta C_{max}}{2}, T_2 - \frac{\beta C_{max}}{2}]$ 的系数 $C_k (k=1,2,\dots,N)$ 进行提取,得到提取出还未作调整的水印 ω_i^{**} 。

(2)采用(11)式改变未作调整的水印序列 ω_i^{**} ,使其从原始调整前的选定范围 $[T_1 + \beta C_{max}, T_2 - \beta C_{max}]$ 调整回原始的序列值范围 $[A, B]$ 。生成调整后的水印 ω_i^* 。

$$\omega_i^* = \frac{\omega_i^{**} (B - A) + A(T_2 - \beta C_{max}) - B(T_1 + \beta C_{max})}{T_2 - T_1 - 2\beta C_{max}} \quad (11)$$

(3)对调整后的水印 ω_i^* 进行混沌解密,得到最终提取的水印 ω_i 。

4.3 算法分析及参数的确定

本文给出的水印嵌入和提取过程中涉及到的参数有 α, β 和阈值 T_1, T_2 。对应于这些参数,算法涉及到三个运算区间 $[T_1, T_2]$;亮度分量的小波系数区间 $[T_1, T_2]$;加密后水印序列的调整区间 $[T_1 + \beta C_{max}, T_2 - \beta C_{max}]$;水印提取区间 $[T_1 + \frac{\beta C_{max}}{2}, T_2 - \frac{\beta C_{max}}{2}]$ 。

(1)亮度分量的小波系数区间 $[T_1, T_2]$

由于本文提出的是盲检测算法,因此算法中的嵌入值没有带入原始图像的亮度值。而相应的嵌入范围为阈值 T_1, T_2 确定的亮度分量的小波系数区间,并且有 $T_2 > T_1 > \alpha C_{max}$ ($0.2 < \alpha < 0.4$)。其中 C_{max} 是选定的小波变换域子带组中小波系数的最大值。由于原始图像已知,因此 C_{max} 是已知量,待确定的参数 α 和水印的鲁棒性有关,参数 α 的作用就是让水印嵌入后图像能够经得起一定程度的攻击, α 的值越大水印的鲁棒性就越好,但是 α 的值过大会引起图像视觉上的变化,所以要在水印的鲁棒性和不可见性之间有个折衷,一般选 $0.2 < \alpha < 0.4$ 。本文对 512×512 大小的 Lena 图像的亮度分量进行小波变换后,选取 $\alpha = 0.3$ 得到,非重要系数有 206467 个,重要系数有 55677 个,占到总的小波系数的 21.24%,足够满足嵌入水印的需要。

其次,阈值 $|T_2 - T_1|$ 与水印对图像带来的失真以及水印嵌入量有关,范围若设定的过大,则水印嵌入后与原先的亮度小波变换后的值相差就有可能比较大,最大为 $|T_2 - T_1|$,即

水印对图像带来的失真有可能会比较大;此范围若设定的过小,则水印嵌入量就非常有限,甚至所有范围内的小波系数都没有水印需要的嵌入量多,会造成水印嵌入失败。因此,一般取 $|T_2 - T_1| = 0.1 C_{max}$ 。本文对 512×512 大小的 Lena 图像的亮度分量进行小波变换后,若取 $|T_2 - T_1| = 0.1 C_{max}$ 且 $\alpha = 0.3$,则在区间 $[0.3 C_{max}, 0.4 C_{max}]$ 中的小波系数有 5982 个,足够嵌入实验设计的 64×64 大小的水印。

(2)加密后水印序列的调整区间 $[T_1 + \beta C_{max}, T_2 - \beta C_{max}]$

由于小波变换的误差影响以及加入水印后图像可能遭受到攻击,原先不在嵌入区间 $[T_1, T_2]$ 内的小波系数有可能被迫进入此区间,原来在 $[T_1, T_2]$ 内的嵌入值有可能移出此区间。因此, $[T_1, T_2]$ 内的小波系数若不调整,很有可能取出的值不是水印值或者漏掉了一部分水印值。于是,进一步调整此区间,将水印的调整区间较待嵌入区间减小或增加 βC_{max} ,是为了检测水印时能够准确地提取出嵌入的值。

(3)水印提取区间 $[T_1 + \frac{\beta C_{max}}{2}, T_2 - \frac{\beta C_{max}}{2}]$

上面两个区间确定后,最后要确定水印的提取区间,当含水印图像的亮度分量经小波变换后,在水印提取区间内的值将被提取出。水印提取区间 $[T_1 + \frac{\beta C_{max}}{2}, T_2 - \frac{\beta C_{max}}{2}]$ 是介于亮度分量的小波重要系数区间 $[T_1, T_2]$ 与加密后水印序列的调整区间 $[T_1 + \beta C_{max}, T_2 - \beta C_{max}]$ 之间的,如前所述,考虑到小波变换的误差影响以及水印攻击的影响,两端留出 βC_{max} 大小的空间,将提取区间设为中间值 $[T_1 + \frac{\beta C_{max}}{2}, T_2 - \frac{\beta C_{max}}{2}]$ 。

可见误差和攻击的最大范围即 $\frac{\beta C_{max}}{2}$,在此范围内,水印可做到准确提取。一般选取 $\beta \leq 0.01$,本文实验选取 $\beta = 0.01$ 。

5 基于混沌特性的小波数字水印系统仿真实验

基于混沌特性的小波数字水印仿真系统结构如图 4 所示。

系统使用多幅图像进行实验和分析,图 5 为原始图像样本, 512×512 大小,彩色图像。图 6 为实验用的水印信息,为 64×64 的灰度图像,灰度级是 256。

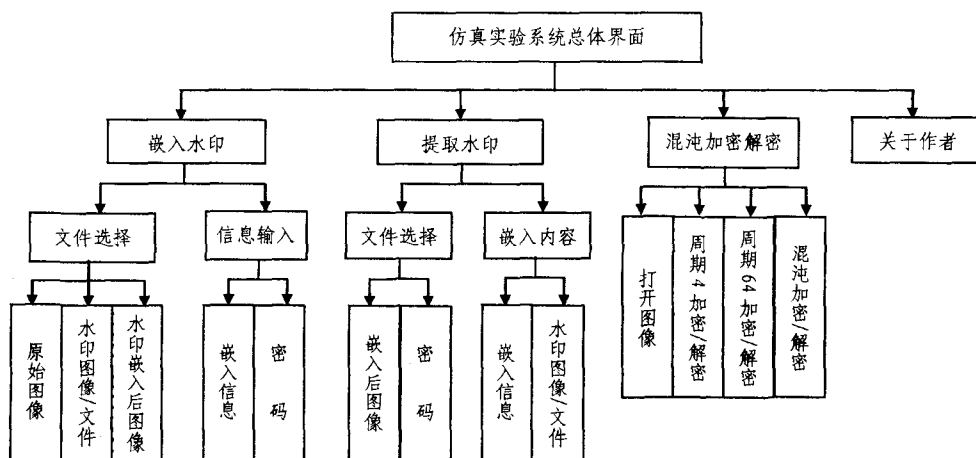


图 4 基于混沌特性的小波数字水印仿真系统结构

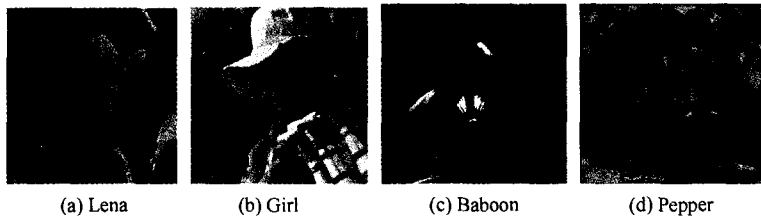


图5 原始图像样本



图6 水印信息

表1 隐藏前图像特征

名称	属性					
	大小	RGB	亮度	灰度范围	能量	熵
Lena	786486B (180,99,105)	128.2300	35~240	0.281	7.2898	
Girl	786486B (133,164,85)	127.3144	3~251	0.2917	5.8468	
Baboon	786486B (69,73,58)	66.5875	0~255	0.1038	7.3621	
Peppers	786486B (144,113,65)	107.4544	8~248	0.2101	6.3827	

表2 隐藏后图像特征

名称	属性					
	大小	RGB	亮度	灰度范围	能量	熵
Lena	786486B (180,99,105)	128.1357	35~240	0.2807	7.2907	
Girl	786486B (133,164,85)	127.2741	2~251	0.2915	6.2176	
Baboon	786486B (68,73,58)	66.4891	0~255	0.1035	7.351	
Peppers	786486B (144,113,65)	107.1036	0~254	0.2092	6.5237	

表1-3显示了图像隐藏前后特征值的变化。表中, ΔV , RGB, ΔI , ΔG 分别为隐藏前后图像的体积、RGB分量、亮度以及灰度变化的绝对误差, $F(\Delta T)$ 为相应参数的相对误差。由表3可见, 隐藏后图像的大小没有变化 ($\Delta V=0$); 由于选择

了合适的嵌入区间, 水印嵌入后 R,G,B 颜色分量的平均相对误差分别为 0.35%, 0.00% 和 0.00%; 亮度平均相对误差为 0.15%; 灰度、能量与熵的平均相对误差分别为 0.024, 0.22% 和 2.17%, 均可忽略。这表明, 本文提出的基于混沌特性的小波数字水印技术可有效实现水印嵌入, 且具有良好的隐藏性、稳定性。

表3 隐藏前、后图像特征相对误差(%)

名称	属性					
	$F(\Delta V)$	$F(\Delta RGB)$	$F(\Delta I)$	$F(\Delta G1) - F(\Delta G2)$	$F(\Delta E)$	$F(\Delta T)$
Lena	0.00	(0,0,0)	0.0735	0.000	0.10	0.01
Girl	0.00	(0,0,0)	0.0317	0.004	0.07	6.30
Baboon	0.00	(1.4,0,0)	0.1478	0.000	2.90	0.15
Peppers	0.00	(0,0,0)	0.3265	0.024	4.30	2.20

图7、图8、图9分别为未受攻击、色深变换(图像压缩)攻击、椒盐噪声攻击情况下的水印提取结果。可以看出, 在遭受攻击的情况下, 仍然可以较清楚、完整地提取出水印信息, 表明本算法有较好的抗攻击能力。

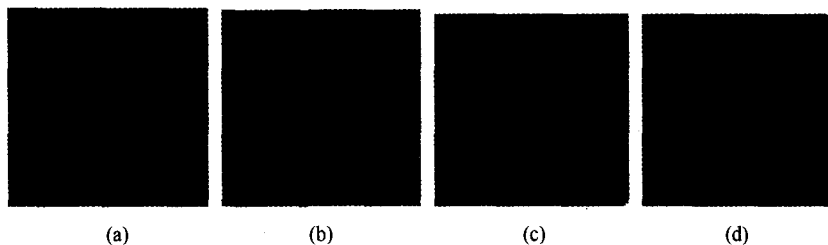


图7 未受攻击情况下的水印提取结果

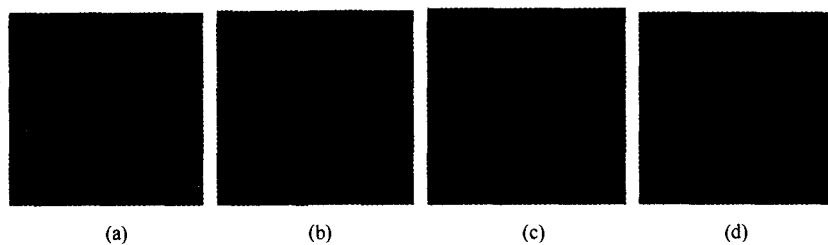


图8 色深变换攻击情况下的水印提取结果

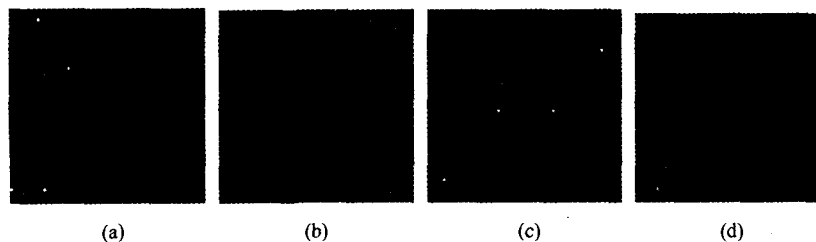


图9 椒盐噪声攻击情况下的水印提取结果

结束语 本文研究了基于混沌特性的小波数字水印技术。先利用混沌特性对水印快速加密,将加密后的水印信息嵌入到相对重要的小波域系数中。仿真实验表明,本文提出的数字水印技术具有良好的隐蔽性、稳定性和鲁棒性,嵌入水印的能量自适应于图像本身,水印检测时不需要原始载体和原始水印图像,是一种比较理想的变换域盲水印算法,能够满足特定领域的应用需求。

系统对水印信息采用调整区间的做法,在一定程度上减少了水印嵌入对原始图像在视觉上的影响。调整的区间很好地适应于原始图像的嵌入区间,使嵌入前后的小波系数差别变小,载体图像在嵌入前后在视觉上没有变化。

算法采用设定嵌入区间的办法使嵌入前后的小波系数相关联,这种方法的最大好处是提取水印时不依赖于原始图像和水印,使提取出的水印在所有权验证时更加具有说服力,适应了数字水印的发展趋势。

(上接第 242 页)

其中虚方框表示弱实体集,带有虚线的箭头指向弱实体集。

表 6 包含有效时间的 policy 记录信息

Tname	dname	origin	cost	start	end
Lyot	volvo	Sweden	700	2005-03-01	2006-03-01
Lyot	BWM	Germany	900	2006-03-02	Now

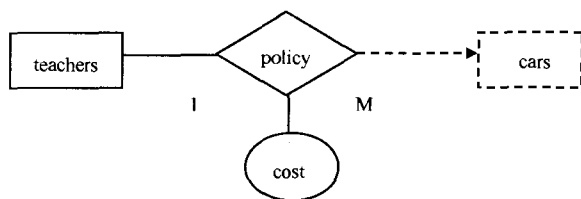


图 6 弱实体集关系

在时态 XML 文档中,我们把弱实体集和联系集合并形成一个 XML 文档,表示弱实体的概念,同时把参照实体集的主关键字作为外键,与弱实体集的主关键字共同构成该实体集的主关键字。图 7 是转换后时态关系 policy 所对应的时态 XML 文档。

```

<relationships vstart="2005-03-01" vend="now">
  <policy vstart="2005-03-01" vend="now">
    <(tname vstart="2005-03-01" vend="now") Lyot </tname>
    <(dname vstart="2005-03-01" vend="2006-03-01") volvo </dname>
    <(dname vstart="2006-03-02" vend="now") BWM </dname>
    <(origin vstart="2005-03-01" vend="2006-03-01") Sweden </origin>
    <(origin vstart="2006-03-02" vend="now") Germany </origin>
    <(cost vstart="2005-03-01" vend="2006-03-01") 700 </cost>
    <(cost vstart="2006-03-02" vend="now") 900 </cost>
  </policy>
</relationships>

```

图 7 包含有效时间的弱实体集的 XML 表示

结束语 随着 Web 的广泛应用,XML 正发挥着越来越重要的作用,如何通过 XML 更有效地表示和存储时态信息,已经成为人们研究的热点。本文讨论了时态 XML 文档中的有效时间表示问题,该模型既可以处理以文档为中心的应用,也可以处理以数据为中心的应用。为了能对大量的时态数据进行有效管理,我们重点研究了时态关系数据库和时态 XML 文档之间的映射问题,总结出了从时态数据库到时态 XML 文档的转换方法,该方法丰富了基于 XML 的时态运算体系。

参考文献

- [1] Turner L F. Digital data security system. Patent IPN WO 89/08915, 1989
- [2] van R G S, Tirkel A Z, Osborne D F. A digital watermark. Int Confon Image Processing, 1994 (2): 86-90
- [3] Brassil J, Low S, Maxemchuk N, et al. Electronic marking and identification techniques to discourage document copying//Proc. of Infocom. 94, 1994
- [4] Bender W, Gruhl D, Morimoto N, et al. Technique for data hiding. IBM System Journal, 1996, 35(4)
- [5] Cox I. Secure spread spectrum watermarking for multimedia. IEEE Trans on Image processing, 1997, 6(12): 1673-1678
- [6] Podilchuk C I, Zeng W. Image-adaptive watermarking using visual models [J]. IEEE Journal on Select Areas Commun., 1998, 16(4): 525-539
- [7] 张小飞. 基于混沌特性的小波数字水印算法研究. 硕士学位论文论文. 2007, 5: 26-29
- [8] 丁玮, 闫伟齐, 齐东旭. 基于生命游戏的数字图象置乱与数字水印技术. 北方工业大学学报, 2000, 12(1): 1-4
- [9] Gonzalez R C, Woods R E. Digital Image Processing Second Edition. Publishing House of Electronics Industry, 2003

今后的研究工作重点将放在时态 XML 存储空间和查询性能的优化技术问题上,以及研究时态 XML 文档的索引和更新技术,以便建立一套基于 XML 的完备时态操作运算体系。

参考文献

- [1] World Wide Web Consortium. Extensible Markup Language (XML) 1.0. <http://www.w3.org/TR/REC-xml>. W3C Recommendation. February 1998
- [2] Ozsoyoglu G, Snodgrass R T. Temporal and Real-time Databases: A Survey. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 1995, 7(4): 513-532
- [3] Jensen C S, et al. A Consensus Glossary of Temporal Database Concepts. ACM SIGMOD Record, 1994, 23(1): 52-64
- [4] Allen J F. Towards a General Model and Action and Time. Artificial Intelligence, 1984, 23(2): 123-154
- [5] Kabanza F, Stevenne J-M, Wolper P. Handling Infinite Temporal Data. Journal of Computer and System Sciences, 1995(51): 3-17
- [6] Wang F, Zaniolo C. Temporal Queries in XML Document Archives and Web Warehouses. In TIME-ICTL, 2003
- [7] Wang F, Zaniolo C. Publishing and Querying the Histories of Archived Relational Databases in XML. In WISE, 2003
- [8] Amagasa T, Yoshikawa M, Uemura S. A Data Model for Temporal XML Documents. In DEXA, 2000
- [9] Chawathe S S, Abiteboul S, Widom J. Representing and querying changes in semistructured data//Proceedings of the Fourteenth International Conference on Data Engineering, 1998
- [10] Chawathe S S, Abiteboul S, Widom J. Managing historical semistructured data. TAPOS, 1999, 5(3)
- [11] Gadia S K. A Homogeneous Model and Query Language for Temporal Databases. ACM TODS, 1988, 13(4): 418-448
- [12] Snodgrass R T, et al. TSQL2 Language Specification. ACM SIGMOD Record, 1994, 23(1): 65-86
- [13] Manukyan M G. Temporal Data Model//Proc. of First East-European Symposium on Advances in Databases and Information Systems-ADBIS'97. St. -Petersburg, 1997: 371-378
- [14] Kjetil N, Marit L, Lene M. TeXOR: Temporal XML Database on an Object-Relational Database System//Proc. of Perspectives of System Informatic. Novosibirsk, Russia, 2003
- [15] 潘顺, 金远平, 欧阳晔. 结构化数据到 XML 数据的语义映射. 东南大学学报(自然科学版), 2002, 32(3): 331-334
- [16] MA Z M. Fuzzy Databases Modeling with XML. Kluwer Academic Publishing, 2005
- [17] Lee D, Chu W W. Constraints-preserving transformation from XML documents type definition to relational schema. Lecture Notes in Computer Science, 1920, 2002: 339-353
- [18] Ji Y J, Tang Y, Ye Xiaoping. Study of Storage and Retrieval of Temporal XML Document. Journal of Information and Computational Science, 2004, 1(3): 117-122
- [19] Ye X P, Tang Y, Huang Z M. Query XML Documents with Temporal Variables//Proc. of the 8th Intl Conf. on CSCWD. Xiamen, 2003: 536-540
- [20] 周竞涛, 张树生, 孙宏伟, 等. 关系模式到 XML Schema 的约束保留映射. 西北工业大学学报, 2003, 21(3): 372-376