

基于形态学的水印方案

邢桂华^{1,2}, 于盛林²

(1. 南京师范大学 数学与计算机科学学院, 江苏 南京 210097; 2. 南京航空航天大学 自动化学院, 江苏 南京 210016)

[摘要] 研究了形态学操作特点, 设计了真正意义的形态学鲁棒水印, 即形态模式作为水印嵌入, 多种形态模式的同时嵌入, 使得为不同用户制作的数字产品能在一次完成。加入可见性水印要求用户必须正确将其去除, 在用户去除可见水印的同时实现了对数字产品的签名。这使得追查盗版的协议得以简化和可行, 为实际应用提供了可能。通过对各环节的实现验证了该方案的实际可行性。

[关键词] 形态学水印, 水印协议, 可见性水印, 图像置乱

[中图分类号] TP391 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1672-1292(2007)04-0063-04

A Watermarking Scheme Based on Morphology

Xing Guhua^{1,2}, Yu Shenglin¹

(1. School of Mathematics and Computer Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

(2. College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract According to the properties of the morphological operations on images, an improved morphological watermarking scheme, in which the morphological modes are indeed embedded in the host image, is proposed in the paper. Many morphological modes are embedded at the same time so that the digital products for different users can be made only one time. The visible watermarking of the scheme requires that the future users should remove it and in the process the digital product is signed by the corresponding user. The scheme makes the watermarking protocol more simple and realistic; so its application is more possible. The experiments on the different link validates the practical feasibility of the scheme.

Key words morphological watermarking, watermarking protocol, visible watermarking, image scrambling

0 引言

数字水印技术是近年来研究的一个热点^[1-7], 它为数字媒体的知识产权保护提供了一种新的保证。目前水印算法主要分为空域和频域两大类。频域的常用变换域有 DCT、DWT 等, 但也有学者利用新的数学手段构造正交变换阵。按照嵌入的内容可分为随机序列的嵌入和有意义水印的嵌入; 根据提取水印时是否需要原载体可分为非盲水印和盲水印检测, 盲水印的实用性较强。目前的研究大多集中在提高鲁棒性、完整性认证及定位和实际的验证协议等, 多数是针对不可见性水印的, 研究可见性水印的较少。目前已有文献将数学形态学引入数字水印^[8], 但文献 [8] 不能算是真正意义上的形态学水印, 因为只是在其中进行了提取水印后的形态学滤波处理, 是作为一种后处理手段存在的。仅有的形态学水印为 Sedaagh 等提出的将形态模式直接嵌入 LSB^[9], 但只是提出了一个大概的思路, 一些具体问题比如鲁棒性和嵌入模式的选择等未深入研究。国内尚未见嵌入形态水印的相关报道, 本文对这一新方法进行了研究。

1 形态学水印方案设计

利用形态学水印能将多种形态模式同时嵌入的优势, 结合目前水印验证协议的难点和可见性水印的特点, 设计了基于形态学的实用水印方案, 在该方案中形态模式作为水印直接嵌入, 其明显的优点是

收稿日期: 2007-05-18

基金项目: 国家自然科学基金 (60673102) 资助项目。

作者简介: 邢桂华 (1971-), 女, 讲师, 博士研究生, 主要从事图像处理和智能计算等方面的教学与研究。E-mail: xingguhua@njnu.edu.cn

同用户制作的数字产品能一次完成,并简化了追查盗版源头协议的难操作性问题.该水印方案的总体设计为:先将不同形态模式的水印嵌入,每一个形态模式对应一个用户,由于多用户共用相同的数字产品,所以若想使不同的用户明确拥有各自不同的产品,必须要进行用户对数字产品的签名.考虑到可见水印可保护数字产品在 web 上的传播和强制用户签名的特点,本方案在嵌入形态模式之后,将可见水印嵌入.当用户得到数字产品后要根据用户号将可见性水印去除并进行签名.当进行水印验证时,形态学滤波可以将一般的非恶意干扰去除,结合有噪声下的形态模式检验方法,可以实现模式检验,根据用户对应的形态模式和签名就可识别用户,从而对非法传播者进行追查.

2 形态学水印及实现

数学形态学是建立在严格的数学理论基础上的,其基本理论和方法对图像处理的理论和技术产生了很大的影响.目前,数学形态学在图像增强、分割和恢复等方面的研究较多,在文字识别、颗粒分析、印刷电路检测等方面的研究也已经展开.图像形态学作为一种新的图像非线性处理方法,是以几何学为基础的,其基本思想是利用一个结构元素去探测一幅图像,通过合适的结构元素的设定,可以得到图像的结构信息.设图像为 I 结构元素为 B ,其运算为:

腐蚀运算:

$$I \ominus B = \bigcap \{I - t_x b \in B\}. \tag{1}$$

膨胀运算:

$$I \oplus B = \bigcup \{I + t_x b \in B\}. \tag{2}$$

开运算:

$$I \circ B = (A \ominus B) \oplus B. \tag{3}$$

闭运算:

$$I \bullet B = [I \ominus (-B)] \oplus (-B). \tag{4}$$

击中击不中变换:

$$F^* B = (I \ominus B_1) \cap (I \oplus B_2), B = (B_1, B_2). \tag{5}$$

在有噪声的情况下,击中击不中变换的结构元素 B_1 为原结构元素的轻度腐蚀, B_2 为原结构元素的轻度膨胀后的外接部分图像.通过以上几种运算的综合使用可以达到期望的滤波效果和探测到图像结构等目的.

基于以上的形态学基本理论,本文的形态学水印可描述为:设数字图像 I 的大小为 $N^* N$,故 $I = \{i(m, n), m \in \{0, N-1\}, n \in \{0, N-1\}, i(m, n) \in \{0, \dots, L-1\}, L$ 为图像的亮度级数.对于一般的 256 级灰度图像,对 I 进行位平面分解后,可得到 8 个位平面: $I = I_1 + I_2 + \dots + I_k + \dots + I_8, I_k = g_k(m, n), m \in \{0, N-1\}, n \in \{0, N-1\}$.当 $\text{mod}(i(m, n), 2^{k-1}) = 1$

时, $g_k(m, n) = 1$ 嵌入时采用 LSB 平面法.嵌入水印选择为二值模式,设水印为 $W = \{w(m, n), m \in \{0, N_1-1\}, n \in \{0, N_1-1\}, w(m, n) \in \{0, 1\}$,二值模式不采用随机方式,而是采用设计固有的形状 shape,每一个 shape 就是一个形态模式,图 1 给出了 4 种模式.设 $\text{Mod}(N, N_1) = 0$ 时,能嵌入的 shape 数为:

$N^* N / (N_1^* N_1)$.根据图像的 LSB 的类噪声分布特点,选择一个较小的 shape 比如 $N_1 = 8$ 就足以与原来的 LSB 相区分了,对于一般图像而言,可嵌入的 shape 是足够多的.设嵌入形态模式后的图像为: $I_w = \{i_w(m, n), m \in \{0, N-1\}, n \in \{0, N-1\}$.形态模式检测时,采用击中击不中变换进行检测,选择的结构元素为: $B_1 = \text{shape}, B_2 = \text{shape}^c$.

与文献 [9] 相比,上述方法做了两方面的改进,一是嵌入模式由三值序列改为二值模式,二是随机的序列改为确定的 shape 模式.第一方面改进的理由是由于本文是为不同用户设计不同的形态模式,二值模式的确定性更强,能嵌入的模式数量更多.原算法没有假设具体的应用环境,也没有说明选择三值序列的理由.但可能的一点是原文考虑三值序列更改的 LSB 点数少,对视觉效果不可见性有帮助,但根据

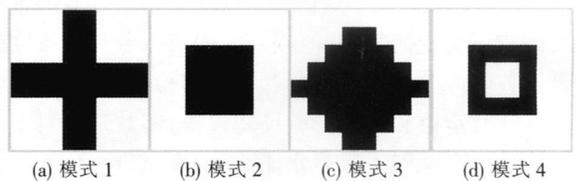


图 1 不同的形态模式

Fig.1 Different morphological modes

Weber定律,视觉效果是有保证的,所以三值序列就没有必要.第二方面改进的理由是为了提高模式容量和检测的鲁棒性.我们可以对原文进行分析:设 $P_e = P_{H0} + P_{H1}$, 其中 P_{H0} 为误检率, P_{H1} 为漏检率.为了保证 $P_{H0} = 0$ 对嵌入的模式要求有足够的长度,这样势必降低模式容量;在理想的状态下 $P_{H1} = 0$ 但是一旦有一位发生变化则不能够正确检测出模式,原文显然没有考虑鲁棒性方面的要求.而本文的二值形态在有噪声的情况下可以采用开闭等形态滤波进行补洞和修毛刺等处理,并可采用适应度更强的击中击不中变换进行检测,可以满足一般的非恶意的攻击下的检测.

3 版权保护协议

在形态模式水印的基础上,若再嵌入可见性水印,则可以制定实用的版权保护协议.该协议需要一个作为验证权威的第三方 CA,基于以上算法,水印的加载和验证协议为:

(1)对于数字产品 P ,版权人 A 进行第 N 批制作,同时嵌入形态模式和可见性水印,供客户签名的程序也在其中,制作的数量取决于对销量的估计和最大形态模式个数 num . (对于图像而言)若嵌入的形态模式为 $N_1 * N_2$,载体为 $N * N$,则 $\text{num} = (N / N_1)^2$. 设制作出的该批产品为 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_{\text{num}}\}$.

(2)对于客户 ID_i ,版权人 A 将本批产品中的一个 P_i 交给 CA.

(3)CA 将一个模式码 C_i 分配给客户 ID_i ,然后将 ID_i, C_i 以加密的方式记录在 P_i 中形成 P_i' ,然后 CA 将 P_i' 发给客户 ID_i .在 CA 处,记录有一张字段为 P, N, ID_i, C_i 的表.而在版权人 A 处,记录表的字段为 P, N, ID_i ,即版权人 A 不知道客户 ID_i 的模式.

(4)客户 ID_i 收到 P_i' 后,需回答正确的 ID_i 后方能使用数字产品.实质上,客户 ID_i 回答之后,即进行了可见性水印的去除和客户的签名,签名的方法为将与 C_i 对应的形态模式进行加密.

(5)将来若出现了 C 拥有的可疑产品 P'' ,则验证和仲裁过程为:

①版权人 A 先判断可见性水印是否为合法去除,判断时首先从视觉效果来判断,由第 3 节可知,盲目去除很容易从视觉效果方面判断出来.若初步认为是盲目去除,可进一步检验各个形态模式,若全部都能检验出来,则可以认定为 C 为盗版;若可见性水印不是盲目去除且只有一个形态模式 C_i 不能检验出来,这时可以确信是某一个客户的复制品,可提交 CA 进行裁决.

②在 CA 处,在记录表中可以很容易查找出 C_i 所属的客户 ID_i ,从而确定客户 ID_i 非法复制.若客户 ID_i 不服,则可以对其形态模式进行解密,然后对其正常提取,就可以证明是客户 ID_i 对产品的加密,从而进一步确信客户 ID_i 为复制源头.

该实现协议对于客户和版权人是公平的,由于最后的数字产品来自于 CA,版权人就不能伪造某个客户的产品,因为版权人不知道具体客户对应的模式.同样客户也必须回答正确的 ID_i 号才能对可见性水印予以正确去除,在此过程中,通过对特定模式的加密实现了客户的签名,该签名过程是将来版权仲裁的有力依据.该协议在平等保护客户和版权人权益的基础上,还有操作性好的优点:一方面版权人可以成批制作数字产品,另外 CA 也不用为每个客户生成和加入水印,大大减轻了其负荷.

4 实验结果

实验在 MATLAB6.5 环境下进行,以标准图像 lena 作为载体,进行了形态水印和可见水印的实现.

对于形态水印,当图像受到噪声干扰时,提取之前需要对形态模式进行形态滤波.滤波过程为先进进行闭运算来补洞和填平凹陷,然后进行开运算来消除孤立点和毛刺.考虑到模式的特点,选择的结构元素为:闭运算结构元素 $SE1 = \text{strel}('square', 2)$;开运算为 $SE2 = \text{strel}('square', 5)$;以随机噪声为例进行说明,结果如图 2 所示.

在实现可见性水印时,为了使可见性水印不被轻易去除,将经过加密的形态模式作为决定嵌入位置的模板.对于加密效果,目前没有统一的衡量指标,许多文献给出的衡量标准是依赖于原图像的^[10],比如不动点、自然序等概念.若两幅图像置乱后的效果相同,其置乱度的大小还要依赖于原图像,这显然不甚合

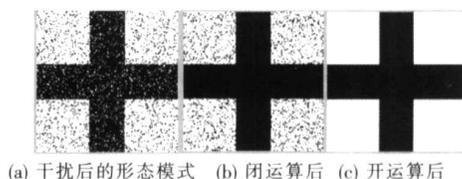


图 2 模式的形态滤波结果

Fig.2 Filter results of morphological modes

理. 基于置乱度应仅依赖于置乱后图像的混乱程度, 本文设计了基于子块直方图贴近度的新的衡量标准. 对于 L 级灰度的第 k 个子图像 $I_k(i, j) \in \{0, 1, \dots, L-1\}$, $i, j \in \{0, 1, \dots, M-1\}$, 其直方图可表示为: $P_k = \{p_k(0), p_k(1), \dots, p_k(L-1)\}$, 其中的元素为各灰度级出现的概率. 用 Hamming 距离来表示由 u 和 v 构成的第 i 对子图像的直方图贴近度:

$$\sigma(P_u, P_v) = 1 - \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L |P_u(i) - P_v(i)| \in [0, 1] \quad (6)$$

对于置乱后图像, 任意选择 n 对子图像, 则置乱后图像总的置乱度可用平均贴近度来定义:

$$\sigma = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_i \quad (7)$$

其值越接近 1, 说明置乱图像的灰度分布越均匀, 从而置乱效果越好. 对图 1(a) ~ (d) 的形态模式进行置乱, 按式 (7) 计算的置乱度结果如表 1 所示 ($n=64$).

由表 1 可知, 决定嵌入位置的模板有很强的随机性, 盲目去除嵌入的可见水印非常困难.

基于模板, 在小波域实现了加型可见性水印, 实验结果如图 3 所示. 由图 3 可见, 当不知道嵌入位置时, 很难把可见性水印彻底去除.



图 3 可见性水印的结果

表 1 不同形态模式的置乱度
Table 1 Scrambling degree of different morphological modes

标准图像	置乱前平均贴近度	置乱后平均贴近度
模式 1	0.6463	0.9981
模式 2	0.6045	0.9972
模式 3	0.6574	0.9975
模式 4	0.7701	0.9974

5 结语

设计了以形态学水印为基础的实用的

水印方案. 方案中利用嵌入多个形态模式和可见性水印, 使得制作成批的水印化数字产品得以实现, 同时通过用户对特定产品的签名防范用户对产品的随意分发. 在实际协议中, 只有 CA 接触了最终的数字产品, 未来的水印验证和仲裁也是通过 CA 进行, 这样版权方也不能侵犯用户权益. 而 CA 不进行具体的水印嵌入工作, 只是进行验证等管理环节, 其负荷问题就不突出了. 实验中通过对各环节的实现验证了该方案的实际可行性.

Fig.3 Experimental results of visible watermarking

[参考文献] (References)

[1] Huang Hsiangcheh, Wang Fenghsing, Pan Jengshyang. Efficient and robust watermarking algorithm with vector quantization [J]. Electronics Letters, 2001, 37(13): 826-828

[2] Bao P, Ma Xiaohu. Image adaptive watermarking using wavelet domain singular value decomposition [J]. IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology, 2005, 15(1): 96-102

[3] Pei Soochang, Guo Jingming, Lee Hua. Novel robust watermarking technique in dithering halftone images [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2005, 12(4): 333-336

[4] Jo Jehwang. Digital image watermarking employing codebook in vector quantization [J]. Electronics Letters, 2003, 39(11): 840-841

[5] Lu Zhenling, Xu Dianguo, Sun shenghe. Multipurpose image watermarking algorithm based on multistage vector quantization [J]. IEEE Trans on Image Processing, 2005, 14(6): 822-831

[6] V inicius Licks, Ramiro Jordan. Geometric attacks on image watermarking systems [J]. Computer Society, 2005(3): 68-77

[7] Zhang M R, Shao G C, Yi K C. T-matrix and its applications in image processing [J]. Electronics Letters, 2004, 40(25): 1583-1584

[8] 沃焱, 韩国强, 张见威, 等. 基于小波变换和形态学的图像内容认证方法 [J]. 通信学报, 2005, 26(8): 9-15
W o Yan, Han Guoqiang, Zhang Jianwei, et al. New image content authentication algorithm based on wavelet transform and morphologic [J]. Journal on Communications, 2005, 26(8): 9-15 (in Chinese)

[9] Sedaaghim H, Yousefi S. Morphological watermarking [J]. IEEE Electronics Letters, 2005, 41(10): 587-589

[10] 张小华, 刘芳, 焦李成. 一种基于混沌序列的图象加密技术 [J]. 中国图象图形学报, 2004, 8(4): 374-378
Zhang Xiaohua, Liu Fang, Jiao Licheng. An image encryption arithmetic based on chaotic sequences [J]. Journal of Image and Graphics, 2004, 8(4): 374-378 (in Chinese)

[责任编辑: 严海琳]