

# 基于内容的空域图像水印算法研究<sup>\*</sup>

王向阳 杨红颖

(辽宁师范大学计算机与信息技术学院 大连116029)

## A Novel Space Domain Watermarking Scheme Based on Image Content

WANG Xiang-Yang YANG Hong-Ying

(School of Computer and Information Technique, Liaoning Teachers University, Dalian 116029, China)

**Abstract** In this paper, a novel space domain watermarking scheme based on image content is presented. The proposed method can use the human visual system(HVS) to adaptively embed a watermark in an image by decomposing the host image, selecting streak blocks, modifying the intensities of the block. Experimental results show that the watermarking scheme proposed in this paper is invisible and robust to cropping, and also has good robustness to compression, filtering, noise adding, image enhancement, and mosaic.

**Keywords** Digital watermarking, Space domain, Human visual system (HVS), Streak block

## 1 引言

作为数字媒体作品知识产权保护的一种有效手段,数字水印(Digital Watermarking)得到了广泛关注,并已成为国际学术界的一个研究热点<sup>[1,2]</sup>。所谓数字水印技术,就是将一种特殊标志信息(伪随机序列或可识别图案文字)嵌入到数字媒体中,用以辨识数据的版权、合法使用者,从而认证或控制数据的使用。根据信息隐藏之目的与技术要求,数字水印一般应具有透明性(Invisibility)、鲁棒性(Robustness)等基本特征。

近几年来,数字水印技术研究取得了很大进展,陆续提出了诸如空域、变换域、压缩域、基于统计学、基于生理模型等多种数字水印算法<sup>[3]</sup>。其中,空域数字水印技术普遍具有算法较简洁但透明性较差、抗攻击能力较弱等特点。例如,Hartung算法<sup>[4]</sup>没有引入人眼视觉特性,透明性较差;Yen算法<sup>[5]</sup>直接将水印位信息随机嵌入到像素的第3、4、5位中,透明性较好但鲁棒性却比较差;Kankanhalli算法<sup>[6]</sup>虽引入了人眼视觉特性,但可感知噪声阈值矩阵需在DCT(Discrete Cosine Transform)频域内计算,系统开销较大。

本文提出一种基于内容的新空域图像水印算法,该算法能够依据人眼视觉特性,通过划分子块、选择纹理子块、自适应修改纹理子块像素灰度值等措施,将随机置换的二值标志图像水印信息自适应地嵌入到原始图像的像素值中。

## 2 数字水印的嵌入

设原始图像为  $I = \{g(i, j), 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N\}$ , 二值水印图像为  $W = \{w(i, j), 1 \leq i \leq P, 1 \leq j \leq Q\}$ 。

其中,  $g(i, j)$  和  $w(i, j)$  分别代表原始图像和二值水印图像的第  $i$  行、第  $j$  列像素灰度值。数字水印图像的嵌入过程如下(参见图1):

(1)水印的降维与随机置乱。采用文[7]中的方法,先将二值水印图像利用行扫描形成一维向量,并依次标号为1到  $P \times Q$ , 然后由密钥  $K_1$  生成由1到  $P \times Q$  的随机排列,再根据随机

排列重新调整向量元素的位置,从而得到由原二值水印图像  $W$  转换而来的一维数字水印序列  $V = \{v_k, 1 \leq k \leq P \times Q, v_k \in \{0, 1\}\}$ 。

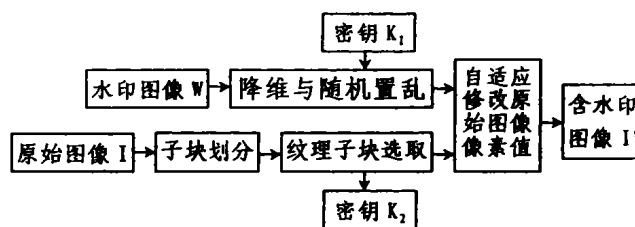


图1 数字水印嵌入算法示意图

(2)子块划分。将原始图像  $I$  划分成大小为  $m \times n$  的图像子块  $B_k (k=1, 2, \dots, S)$ 。

(3)选取纹理子块。长期以来,通过对人眼某些视觉现象的观察,并结合视觉生理、心理学等方面研究成果,发现了各种视觉掩盖(Masking)效应,而如果能在嵌入数字水印时充分利用人眼的视觉掩盖效应,必将极大地提高数字水印的透明性和鲁棒性。研究表明:①人眼对不同的灰度具有不同的敏感性,通常对中等灰度最为敏感,并且向低灰度和高灰度两个方向呈非线性下降;②人眼对图像平滑区的噪声较敏感,而对纹理区的噪声不敏感;③图像的边缘信息对于人眼非常重要(图像的边缘信息容易受到外来噪声、常规图像处理等因素影响),必须保证边缘的质量不受大的损害。可见,应该将数字水印信息嵌入到原始图像的纹理区(即纹理子块)内,以进一步改善数字水印的隐藏效果。

纹理子块的选取过程为:首先,计算每一个图像子块  $B_k (k=1, 2, \dots, S)$  的熵值和方差。熵值较小的图像子块应该是平滑块,而熵值比较大的图像子块是纹理块或边缘块。纹理子块对应的方差较小,边缘子块对应的方差比较大。其次,选取合适的熵阈值和方差阈值,以得到用于嵌入水印信息的纹理子块  $U_k (k=1, 2, \dots, P \times Q)$  (相对于给定阈值的)。

值得注意的是,在选取纹理子块的过程中生成了抽取水

<sup>\*</sup> 本文得到国家自然科学基金(69974032)资助。王向阳 教授,主要研究方向为多媒体数据压缩技术、信息隐藏与数字水印。

印信息的密钥  $K_2$ , 即用于嵌入数字水印信息的纹理子块  $U_k$  的位置。

(4) 自适应修改原始图像的纹理子块(所选择的)像素值。设  $U_k(k=1, 2, \dots, P \times Q)$  为所选取的纹理子块,  $g_{\max}$  表示纹理子块  $U_k$  的最大灰度值,  $g_{\min}$  表示纹理子块  $U_k$  的最小灰度值,  $g_{\text{ave}}$  表示纹理子块  $U_k$  的平均灰度值, 即

$$g_{\max} = \max\{g(i, j), 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n\}, g_{\min} = \min\{g(i, j), 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n\},$$

$$g_{\text{ave}} = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g(i, j)$$

其中,  $g(i, j)$  表示纹理子块  $U_k$  内像素点  $(i, j)$  的灰度值。

则纹理子块  $U_k$  内像素点  $(i, j)$  的灰度值  $g(i, j)$  自适应修改策略为:

若  $v_k=1$ , 则

如果  $g(i, j) > g_{\text{ave}}$ , 则  $g'(i, j) = g_{\max}$

如果  $g(i, j) \leq g_{\text{ave}}$ , 则  $g'(i, j) = g(i, j) + \delta$

否则

如果  $g(i, j) < g_{\text{ave}}$ , 则  $g'(i, j) = g_{\min}$

如果  $g(i, j) \geq g_{\text{ave}}$ , 则  $g'(i, j) = g(i, j) - \delta$

其中,  $g'(i, j)$  表示纹理子块  $U_k$  内像素点  $(i, j)$  的修改后灰度值,  $\delta$  为用于调整纹理子块  $U_k$  内像素点灰度的微小修改量。

显然, 数字水印信息的嵌入与所选纹理子块  $U_k$  的内容(即灰度值)密切相关。

### 3 数字水印的检测

对应于以上数字水印嵌入算法, 数字水印的检测过程如下(参见图2):

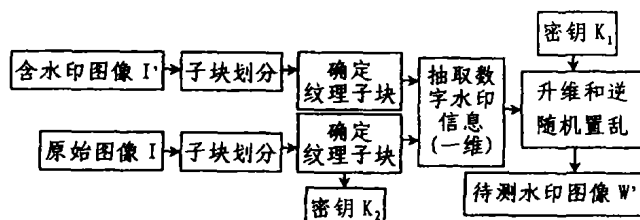


图2 数字水印检测算法示意图

(1) 子块划分。将原始图像  $I$  和含水印图像  $I'$  划分成大小为  $m \times n$  的图像子块。



a 原始图像



b 原始水印图像



c 含水印图像



d 抽取出的水印图像

图3 数字水印嵌入与检测结果

#### 4.2 抗攻击能力测试

通常, 对水印图像的攻击方式主要包括叠加噪声、JPEG 压缩、平滑滤波、几何剪切、图像增强、马赛克等。表1给出了本文数字水印算法对常见图像处理与攻击的抵抗能力(归一化相关系数)。

• 146 •

(2) 确定纹理子块。根据水印嵌入过程中生成的密钥  $K_2$  从原始图像  $I$  中确定纹理子块集  $U = \{U_k, k=1, 2, \dots, P \times Q\}$ , 并以这些纹理子块的地址作为索引, 从含水印图像  $I'$  中选择相应的子块作为待测纹理子块集  $U' = \{U'_k, k=1, 2, \dots, P \times Q\}$ 。

(3) 抽取数字水印信息  $V'$  (一维)。计算纹理子块  $U_k(k=1, 2, \dots, P \times Q)$  和  $U'_k(k=1, 2, \dots, P \times Q)$  的像素灰度值之和  $S_k$  和  $S'_k$ , 即

$$S_k = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g(i, j), S'_k = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g'(i, j)$$

则数字水印信息  $V'$  (一维) 的抽取策略为:

如果  $S_k \geq S'_k$ , 则  $v'_k = 0$

如果  $S_k < S'_k$ , 则  $v'_k = 1$

(4) 水印的升维与逆随机置乱。按照数字水印嵌入算法(1)的相反操作(即升维与逆随机置乱)计算出待测二值水印图像  $W' = \{w'(i, j), 1 \leq i \leq p, 1 \leq j \leq q\}$ 。

(5) 水印的评价。为了消除观测者的经验、身体条件、实验条件和设备等主、客观因素的影响, 通常采用归一化相关系数  $\rho$  对抽取的水印和原始水印的相似性进行定量评价, 它定义为:

$$\rho(W', W) = \frac{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q w(i, j) \cdot w'(i, j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q w^2(i, j)} \sqrt{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q w'^2(i, j)}}$$

其中,  $W'$  是待判决的二值水印图像,  $W$  是嵌入的原始二值水印图像。如果该归一化相关系数  $\rho$  超过某一阈值, 我们就判定图像中存在此二值数字水印图像(阈值是用户根据数字水印的具体应用背景而确定的)。

### 4 实验结果

为了验证本文所给数字水印算法的高效性, 以下给出 Lena 标准图像(512×512×8bit)的实验结果。实验中, 数字水印选用了 64×64 的二值标志图像, 图像子块大小( $m \times n$ )为 4×4, 微小修改量  $\delta$  设为 1。

#### 4.1 检测性能测试

图3的(a)、(b)、(c)、(d)分别为原始图像、原始水印图像、已嵌入水印后的图像(PSNR = 42.9dB)和从含水印图像中抽取出的水印图像( $\rho=1.00$ ) (未受到任何攻击)。

从抗攻击能力测试结果来看, 本文提出的数字水印算法对一系列信号处理操作均具有较强的鲁棒性。

结束语 本文提出了一种基于内容的新空域图像水印算法, 该算法能够依据人眼视觉特性, 通过划分子块、选择纹理

(下转第178页)

么 Sch(S)也就没有存在的必要了。

## (2)实例蕴含公理

$Ins(G) \rightarrow Ins(S)$

上式说明,每个时刻,对于特殊构件类模式产生的每个实例,都有相应的一般构件类模式实例存在,一个一般构件可被多个特殊构件所继承,即一个父亲可以有多个儿子。

## (3)生命周期蕴含公理

$LC(S) \rightarrow LC(G)$

上式说明,特殊构件的生命周期比一般构件的生命周期要短,即特殊构件的生命周期蕴含于一般构件的生命周期之中。

4.2.2 引用的语义 引用是构件类和构件之间一种临时性的关联,如果构件类 A 引用了构件类 B,或者说 B 被 A 引用,称 A 为引用构件类,B 为被引用构件类,那么,当且仅当以下叙述成立:

假设存在一个函数 Ref,它返回构件类 B 的实例 b 的集合,这些实例集合在 A 的生命周期中被 A 的实例 a 引用,

则:  $b \in Ins(B) / a \in Ins(A)$ ,有  $b \in Ref(a)$ :

$EV0(a) \neq EV(b) \text{ or } EVn(a) \neq EVn(b)$

$a \in A, b \in Ref(a) / LC(a) \rightarrow LC(b)$

上面说明的直观含义是,引用构件的生命周期蕴含在被引用构件的生命周期之中,即引用构件的生命周期比被引用构件的生命周期短。

**总结** 构件的 BNF 范式描述了构件的语法,构件的关系

语义描述了构件之间关系的含义,本文通过对构件的语法和构件的关系之间的语义的描述,使对应用软件中的构件的概念有一个比较全面的认识,这对于用构件组装应用软件有一个概念上的指导。

## 参考文献

- 1 Edwards S H. Toward a model of reusable software subsystems. In: Philbrick S, Stevens M, eds. Proc. of the 15 th workshop on Software Reuse. Larry Latour, 1992
- 2 Tracz W. Implementation working group summary. In: Baldo J, ed. Reuse in Practice Workshop Summary. Alexandria. 1990. 10 ~19
- 3 Brockschmidt K. Inside OLE2. Microsoft Press, 1994
- 4 Brown A. Large-Scale Component-Based Development. New Jersey: Prentice Hall, Inc., 2000
- 5 Blom M, Nordby E J. Semantic integrity in component based development. Project Report, Sweden: Malardalen University, 2000
- 6 Object Management Group(OMG). The Common Object Request Broker: Architecture and Specification V2.3. 1999. <http://www.omg.org>
- 7 贾育,顾毓清. 基于领域特征空间的构件语义表示方法. 软件学报, 2002, 13(2): 311~316
- 8 杨美清,梅宏,李克勤. 软件复用与软件构件技术. 电子学报, 1999, 27(2): 69~75

(上接第146页)

表1 数字水印对常见图像处理与攻击的抵抗能力

| 攻击方式    | 参数        | 归一化相关系数 | 攻击方式  | 参数   | 归一化相关系数 |
|---------|-----------|---------|-------|------|---------|
| 叠加噪声    | 随机分布(10%) | 0.991   | 几何剪切  | 二分之一 | 0.817   |
|         | 均匀分布(5%)  | 0.993   |       | 四分之一 | 0.892   |
| JPEG 压缩 | 质量系数为70%  | 0.907   | 图像增强  | 锐化   | 1.000   |
|         | 质量系数为80%  | 0.852   |       | 边缘锐化 | 1.000   |
| 平滑滤波    | 低通滤波      | 0.954   | 马赛克效果 | 2×2块 | 0.897   |
|         | 中值滤波      | 0.891   |       | 3×3块 | 0.702   |

子块、自适应修改纹理子块像素灰度值等措施,将随机置换的二值标志图像水印信息自适应地嵌入到原始图像的像素值中,从而有效解决空域数字水印技术普遍存在的透明性较差、抗攻击能力较弱等问题。实验结果表明:该数字水印算法不仅具有较好的透明性,而且对诸如叠加噪声、JPEG 压缩、平滑滤波、几何剪切、图像增强、马赛克等攻击均具有较好的鲁棒性;同时,具有算法简洁高效、易于实时处理等优点。

## 参考文献

- 1 Lu C S, Liao H Y M. Multipurpose watermarking for image authentication and protection [J]. IEEE Trans. on image processing, 2001, 10(10): 1579~1592
- 2 Cox I J, Miller M L. The first 50 years of electronic watermarking [J]. Journal of Applied Signal Processing, 2002, (2): 126~132
- 3 易开祥,石教英,孙鑫. 数字水印技术研究进展[J]. 中国图像图形学报, 2001, 6(2): 111~117
- 4 Hartung F, Girod B. Watermarking of MPEG-2 encoded video without decoding and re-encoding [C]. In: Freeman M., Jaretzky P., Vin H. M., eds. Proc. of the SPIE conf. on Multimedia Computing and Networking, Vol 3020. Bellingham: SPIE Press, 1997. 264 ~273
- 5 Cheng Yen Hui. Watermark embedded in permuted domain [J]. - Electronics Letter, 2001, 37(2): 80~81
- 6 Kankanhalli M S, Rajmohan, Ramakrishnan K R. Content based watermarking of image [C]. In: Effelsberg W. . ACM Multimedia Electronic Proc. the 6th ACM Intl. Multimedia Conf. New York: ACM Press, 1998
- 7 Chiou-Ting H, Ja-Ling W. Hidden digital watermarks in images [J]. IEEE Trans. on Image Processing, 1999, 8(1): 58~68