

基于 RLE 编码定位的数字水印算法

刘晶¹, 刘刚², 张九龙¹

LIU Jing¹, LIU Gang², ZHANG Jiu-long¹

1. 西安理工大学 计算机科学与工程学院, 西安 710048

2. 西安电子科技大学 计算机学院, 西安 710071

1. Faculty of Computer Science and Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China

2. School of Computer Science and Technology, Xidian University, Xi'an 710071, China

E-mail: liujing@xaut.edu.cn

LIU Jing, LIU Gang, ZHANG Jiu-long. Image watermarking algorithm based on RLE orientation. *Computer Engineering and Applications*, 2008, 44(24): 98-99.

Abstract: The paper presents a new binary watermark method based on Run Length Encoding(RLE) and Discrete Wavelet Transform(DWT). The watermark is embedded into the image by modifying some of its wavelet coefficients in low-middle-frequency sub-band. The selection of the coefficients is based on the RLE of the binary watermark image and the key K_2 . Experimental results show that the proposed scheme is not only invisible and robust against common signals processing such as noise adding, sharpening, median filtering, and JPEG compression, but also robust against the geometric attack such as rotation, scaling, translation, row or column removal, shearing, and bending of images.

Key words: Run Length Encoding(RLE); Discrete Wavelet Transform(DWT); binary watermark; geometric attack

摘要:提出了一种二值水印嵌入方案。对水印图像进行游程编码,对载体图像进行离散小波变换,选择最高级细节子带中最大系数为嵌入目标,由密钥 K_1 将水印图像的游程编码拆分成两部分,密钥 K_2 和水印图像的 RLE 码值共同确定嵌入位置。检测时,根据游程码值和小波系数变化幅度两个原则检测水印信息。实验结果表明:该方案不仅具有很好的不可感知性,而且对常规图像处理 and 几何攻击均具有较好的鲁棒性。

关键词:游程编码;小波变换;二值水印;几何攻击

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2008.24.028 文章编号: 1002-8331(2008)24-0098-02 文献标识码: A 中图分类号: TP391

1 引言

信息技术和计算机网络的迅速发展,使得在网络上传播的图像的版权保护和服务认证面临日益严峻的挑战。数字水印正是一项为保护多媒体知识产权而发展起来的技术,要求能够为受到保护的信息产品归属提供完全和可靠证明。然而,数字水印对抗几何攻击是一个困难且具有挑战性的工作,实际上,现有的许多图像水印算法并不能有效抵抗几何攻击。为使算法能对抗几何攻击,文献[1]首先提出了一种基于 Fourier-mellin 变换的水印策略,利用该变换本身具有 RST(Rotation, Scaling, Translation)不变性,实现抗 RST 效果,但该方法会使水印图像变质。文献[2]将水印嵌入图像的 DFT 域,利用变换 Radon 检测图像的旋转。文献[3]将单圆环行的扩频水印嵌入图像的 DFT 域。文献[2-3]方法的优点在于可以把信号分解为相位信息和幅值信息,具有更丰富的细节信息,但其计算量大、嵌入信息少,抗压缩能力较弱,且与新一代的图像压缩标准 JPEG2000 不兼容。本文算法基于 DWT,虽然 DWT 不具有 RST 性,但它在时频两域都具有表征信号局部特征的能力,及良好的空间、频率

特性和与人类视觉系统(HVS)相符的多分辨率特性。而对一幅已知的二值水印图像,其 RLE 码值是唯一的。这就是说,水印化的图像经过 RST 攻击,利用 Radon 变换可以判断出图像所经历的几何变换,然后对图像进行配准复原。对校正后的图像,根据 RLE 码值来检测该点的小波系数是否含有水印信息。经实验验证,该算法对常规图像处理(如加噪、低频滤波、锐化和 JPEG 压缩等)和常见的几何攻击(如旋转、剪切、行(或列)删除和缩放等)有很强的鲁棒性。

2 游程编码

游程编码(Run Length Encoding, RLE)是一种利用空间冗余度压缩图像的方法。对二值图像,游程编码是一种高效的编码方法。

设 (x_1, x_2, \dots, x_N) 为图像中某一行像素,如图 1 所示,每一行图像都由 k 段长度为 l_k 、灰度值为 g_i 的片段组成($1 \leq i \leq k$),那么该行图像可由偶对 (g_i, l_i) ($1 \leq i \leq k$) 来表示:

$$(x_1, x_2, \dots, x_N) \rightarrow (g_1, l_1), (g_2, l_2), \dots, (g_k, l_k) \quad (1)$$

作者简介:刘晶(1973-),女,硕士,研究方向:图像处理,数字水印;刘刚,博士,副教授,研究方向:网络与信息安全,数字水印;张九龙,副教授,研究方向:人脸识别,小波变换。

收稿日期:2007-10-23 修回日期:2008-01-25

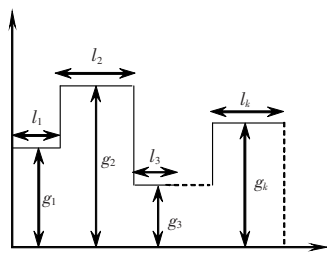


图1 一行图像的游程编码示意图

每一个偶对 (g_i, l_i) 称为灰度级游程。假设二值图像行从白的游程开始, 则式(1)可以改为:

$$(x_1, x_2, \dots, x_N) \rightarrow l_1, l_2, \dots, l_k \quad (2)$$

这样只需对游程编码, 由此得到的编码是一维的^[4]。在本文中, 依据这些游程码值对小波域最高级细节子图的系数做修改。通过游程编码可以精确记录水印嵌入位置, 且不会带来额外存储开销问题^[5]; 二值水印图像经 RLE 编码后数据可减至原来的 50% 以下, 与其它水印图像处理方法(如混沌处理)相比, 该方法利于水印的不可感知性。

3 数字水印的嵌入

根据 HVS 的照度掩蔽特性和纹理掩蔽特性, 将水印嵌入到图像的纹理和边缘等信息中不易被察觉。在图像的 DWT 域中, 图像的纹理、边缘等信息主要表现在细节子图中一些有较大值的小波系数上。而水印信息嵌入在低级细节子图中, 对图像压缩攻击非常敏感, 很容易丢失。综上所述, 水印信息嵌入依据两个原则: 为了达到水印的不可见性, 将嵌入点选在细节子图中一些有较大值的小波系数上; 为了抗压缩处理, 细节子图应该为最高级的细节子图。具体修改哪一点的小波域细节系数, 由二值水印图像的 RLE 码值和密钥 K_1, K_2 确定。嵌入步骤如下:

(1) 对二值水印信息进行游程编码。由密钥 K_1 将游程编码拆分前后两部分, 出于安全考虑, 首先将后半部分水印信息嵌入到原始载体图像, 嵌入位置由密钥 K_2 和游程编码值之和确定。设水印序列为 $w(m, n)$, 其中 $w(m, n) \in \{0, 1\}, m, n=1, 2, \dots, N$ (N 为水印图像大小, 要求 N 小于等于载体图像最高级细节子图的一维长度), 其游程为 $(0, l_1), (1, l_2), (0, l_3), (1, l_4), \dots$, 游程编码为 $l_1, l_2, l_3, \dots, l_k$ 。文中采用游程编码的相对码值, 即 $l_1, l_1+l_2, l_1+l_2+l_3, \dots, l_1+l_2+l_3+\dots+l_k$ 。

(2) 对载体图像进行离散小波变换。设原始载体图像 I 经过 L 级小波分解后, 每一级的水平 h 、垂直 v 和对角 d 子图的二维坐标 (m, n) 处的系数表示为 $I_{k,l}(m, n)$, 其中 $k=h, v, d, l=1, 2, \dots, L$ 。文中 $L=3$, 即对载体图像 I 进行了 3 级小波分解。

(3) 嵌入水印。由步骤(1)确定小波域最高级细节子图中要嵌入水印信息的位置, 对该位置的 $I_{k,l}(m, n)$, 其中 $k=h, v, d$, 进行大小排序, 设其结果为:

$$I_{k1,3}(m, n) \leq I_{k2,3}(m, n) \leq I_{k3,3}(m, n)$$

其中 $k1, k2, k3 \in \{h, v, d\}, k1, k2, k3$ 互异。

将水印信息嵌入到最大系数中:

$$I'_{k3,3}(m, n) = I_{k3,3}(m, n) + \alpha * I_{k3,3}(m, n)$$

其中 α 为嵌入强度, 经验系数。

例如: 一幅二值图像的游程编码为 36, 38, 59, 60, 68, 70, …… , 载体图像经过 3 级小波分解, 得到的最高级 3 个细节子

图分别为 HL_3, LH_3, HH_3 , 3 个细节子图的系数矩阵为 $I_{h,3}(m, n), I_{v,3}(m, n), I_{d,3}(m, n)$, 将这 3 个系数矩阵都变换为一维矩阵。在这 3 个一维矩阵中, 分别找出在第 36 号、38 号、59 号、60 号、68 号、70 号……这些位置上最大的那个系数, 然后依式(3)将水印信息嵌入到这些小波系数中。

4 数字水印的提取

假设待检测的图像嵌入有水印, 且水印信息及嵌入过程都清楚的情况下, 进行如下步骤:

(1) 对二值水印图像进行游程编码(前提是提取方应该知道二值水印信息);

(2) 由密钥 K_1, K_2 和游程码值获得嵌入水印的精确位置;

(3) 对水印化的图像进行小波分解;

(4) 利用如下规则对该位置且为小波域中最高级 3 个细节子图的最大系数进行测试:

$$w'(m, n) = \begin{cases} 1 & I'_{k3,3}(m, n) > I_{k3,3}(m, n) \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

待检测图像遭受攻击以后, 其小波系数幅度会发生变化。原本在该位置嵌有水印的, 由于受到攻击, 系数 $I'_{k3,3}(m, n)$ 可能比嵌入水印前的系数还小, 导致漏检。但由于水印嵌入位置确定, 算法可以保证误检率为零。在载体图像遭受攻击后, 仍能检测出载体图像嵌有水印信息。

5 实验结果

为了验证本文算法的有效性, 以下给出了性能检测与抗攻击能力的测试结果。实验中, 所选用的原始载体分别为 $512 \times 512 \times 8$ bit 标准灰度图像 lena、goldhill、rice 和 cameraman, 使用 Haar 小波对图像进行三级分解, 数字水印采用 $32 \times 32 \times 2$ bit 的二值图像, 其中一幅水印图像的 RLE 码值数为 225 个, 另一幅为 205 个。水印嵌入强度选取为 $\alpha=0.1$ 。表 1 和表 2 给出了本文算法的鲁棒性能测试结果(表中数字表示从攻击后的含水印图像中成功检测到数字水印的 RLE 码值数目)。

表1 对常规处理测试结果

	高斯噪声 $N(0,1)$		椒盐噪声 (1%)		3x3 滤波 中值		3x3 锐化		JPEG 压缩	
	225	205	225	205	225	205	225	205	15	30+中值
lena	171	147	153	140	120	97	220	200	225	120
goldhill	163	153	140	130	119	106	222	197	225	119
rice	152	150	144	132	97	97	219	200	225	97
cameraman	194	166	188	171	164	147	222	200	225	164

表2 对几何攻击测试结果

	去除 50 行 50 列		中心裁掉 10%		剪切掉 50%		旋转 5		缩放 1.2	
	225	205	225	205	225	205	225	205	225	205
lena	222	204	209	189	109	99	193	180	169	150
goldhill	222	204	209	189	109	99	181	161	166	159
rice	222	204	209	189	109	99	192	177	164	155
cameraman	222	204	209	189	109	99	197	175	189	174

6 总结

本文提出了一种能有效抵抗几何攻击的数字图像水印方

(下转 102 页)