

基于指纹特征数据的水印技术研究

冯茂岩¹ 冯波² 沈春林²

(江苏海事技术学院信息工程系 南京 210070)¹ (南京航空航天大学自动化学院 南京 210016)²

摘要 传统水印技术的水印数据主要有两种:伪随机序列(一维)和二值图像(二维)。本文通过分别对图像的 R, G, B 信道嵌入水印信息,提出了一种将 256 级灰度的指纹图像嵌入到宿主图像的算法,宿主图像可以是 256 级灰度图像,也可以是 24 位的真彩图像。通过实验表明该算法具有良好的鲁棒性。

关键词 数字水印,指纹特征数据,灰度图像

Digital Watermark Research Based on Fingerprint Feature Data

FENG Mao-Yan¹ FENG Bo² SHEN Chun-Lin²

(Information Engineering Department, Jiangsu Maritime Institute, Nanjing 210070)¹

(College of Automation and Engineering of NUAA, Nanjing 210016)²

Abstract There are two kinds of watermark data in traditional digital watermark: one is the pseudo-random sequence (one dimension), the other is binary image (two dimension). In this paper, we propose a new algorithm to insert 256-gray-scale fingerprint images to original images through inserting watermark information to each channel of R, G, and B of the original image, and the original image can be both gray-scale image or color image. The experiment results show this algorithm has a good robustness.

Keywords Digital watermark, Fingerprint feature data, Gray-scale image

1 引言

随着信息科学技术的飞速发展和 Internet 网络的日益普及,多媒体数据的数字化在为多媒体信息的存取提供极大便利的同时,随之也出现了诸如作品侵权更加容易、篡改更加方便、盗版更加频繁等严重的知识产权保护问题。在这种背景下,产生了一门综合了信号处理、数字通信、模式识别、密码学和 Internet 等技术的新型技术——数字水印技术。

传统的数字水印技术的水印信息主要有两类:伪随机序列(一维)和二值图像(二维)。本文提出了一种将指纹特征数据(256 级的灰度指纹图像或指纹特征值)作为水印信息,嵌入到多媒体数据中,其实质是将传统的数字水印技术与指纹及其识别技术相结合。

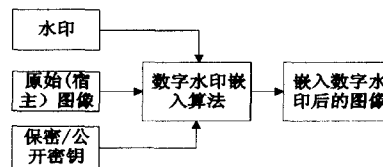


图1 水印的嵌入过程

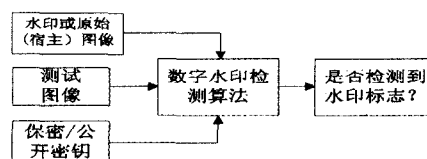


图2 水印的提取过程

2 数字水印技术的原理和特点

2.1 数字水印的原理

数字水印技术是通过一定的算法向原始数据(也称宿主数据)中嵌入秘密信息——水印(watermark)来证实该数据的拥有者的版权。这种嵌入的信息可以是一段文字、标志、序列号,也可以是图像、音频、视频、动画等多媒体信息。水印通常是不可见或不可察觉的,它与原始数据(如图像,音频,文本,视频数据等)紧密结合并隐藏其中,成为宿主数据不可分离的一部分,并可以经过一些不被破坏原始数据使用价值或商业价值的操作而保存下来。

完整的数字水印算法包含两个部分:水印数据的嵌入过程和水印数据的提取和检测过程。典型的水印数据嵌入模型如图 1 所示,水印数据的提取和检测模型如图 2 所示^[1]。

2.2 数字水印的特点

数字水印的应用领域决定了它的特点,主要包括以下几个方面^[4~6]:

- (1) 鲁棒性:鲁棒性是数字水印技术最重要的特性,它主要是指数字水印抵抗信号处理、几何变换、JPEG/MPEG 压缩以及恶意攻击的特性。
- (2) 安全性:指水印信息难以伪造或篡改的特性。
- (3) 隐蔽性:指加入的水印信息不易被察觉,不会对视觉造成影响。
- (4) 确定性:指水印所携带的信息应该能被唯一地鉴别和确定,即使受到攻击时,对提取水印信息的精度不应有大的影响。
- (5) 水印容量:指嵌入的水印信息必须足以表示产品拥有者的信息。

冯茂岩 硕士,副教授,CCF 高级会员,研究方向:计算机应用,自动控制与仿真。冯波 硕士,工程师,专业方向:网络与控制。沈春林 教授,博士生导师,美国纽约科学院院士,美国 IEEE 学会高级会员,主要研究方向为低空飞行与突防技术、网络与控制、虚拟现实技术等。

此外,部分数字水印还具有盲检测性特点。

3 指纹水印数据的嵌入算法

目前,大部分数字水印技术都是基于一维 ID 序列和二值数字水印技术的研究。这种水印技术所包含的知识产权信息量少,保密性差^[7]。本文提出了一种将指纹特征数据(256 级的灰度指纹图像或指纹特征值)作为水印信息,嵌入到多媒体数据中的时间/空域水印算法,该算法要求嵌入的指纹图像和宿主图像具有相同的大小,指纹提取时需要原始宿主图像的数据。实验证明:本文的算法具有较好的抵抗缩放,JPEG 压缩和剪切以及平滑等操作的鲁棒性。

3.1 指纹水印数据的嵌入

指纹图像的嵌入过程如下:

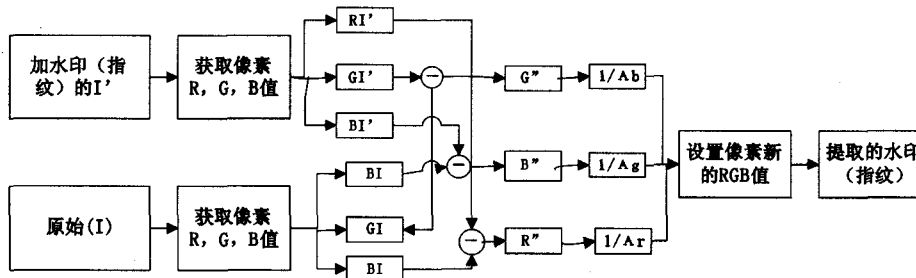


图 3 指纹图像的嵌入过程

3.2 指纹水印数据的提取

指纹图像的提取过程是嵌入的逆过程,其提取过程如下:

- (1) 分别获取添加水印后图像 I' 和原始图像 I 的 R 、 G 、 B 分量值;
- (2) 计算 I' 和 I 的每个像素的 R 、 G 、 B 分量之差;
- (3) 按下面公式计算提取的指纹图像每个像素的 RGB 值:

$$R_w = \text{round}[(R_r - R_l) * \text{round}(\frac{1}{\alpha_r})]$$

$$G_w = \text{round}[(G_r - G_l) * \text{round}(\frac{1}{\alpha_g})]$$

$$B_w = \text{round}[(B_r - B_l) * \text{round}(\frac{1}{\alpha_b})]$$

其中, $\text{round}()$ 表示对嵌入系数的倒数做取整运算,对最终结果也要做取整运算。

- (4) 设置提取出的指纹的像素 RGB 分量值,提取指纹水印。

指纹水印提取的具体过程见图 4。

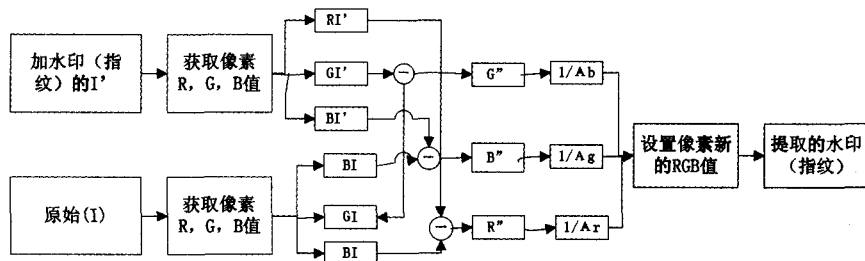


图 4 指纹图像的提取过程

3.3 实验结果

1 两个评价参数的计算

- (1) 归一化互相关系数 (Normalize Cross-Correlation, NC)^[11]

$$NC = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} W(i,j) * W'(i,j)}{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} W(i,j) * W(i,j)}$$

其中, W 表示大小为 $N \times M$ 的原始水印图像, W' 为提取出的水印图像。归一化互相关系数分析提取的水印与原始水印的相似性。

- (2) 峰值信噪比 (Peak Signal Noise Ratios, PSNR)^[10]

$$PSNR = 10 * \log_{10}(\frac{255^2}{MSE})$$

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M [f(i,j) - f'(i,j)]^2$$

- (1) 分别获取原始灰度指纹图像和宿主图像每个像素的 R 、 G 、 B 分量值;

- (2) 对于获取的指纹图像像素的 R 、 G 、 B 分量分别设置嵌入系数为 $\alpha_r, \alpha_g, \alpha_b$;

- (3) 按照下面的公式获取每个像素新的 RGB 值

$$R' = \text{round}(R_l + R_w * \alpha_r)$$

$$G' = \text{round}(G_l + G_w * \alpha_g)$$

$$B' = \text{round}(B_l + B_w * \alpha_b)$$

其中, $\text{round}()$ 表示对结果取整。

- (4) 设置像素新的 RGB 值,每个新像素的 RGB 值就是嵌入水印后的图像的 RGB 值。

图 3 是指纹嵌入的具体过程框图。

其中, $f(i,j)$ 与 $f'(i,j)$ 为嵌入水印图像前后的图像灰度值。MSE 为均方误差。

2 仿真结果分析

基于前述的算法,我们利用 Visual C++.NET 开发平台对其进行了仿真实验。实验中,宿主图像为 256×256 的 256 级灰度 BMP 图像,嵌入的指纹图像也是 256×256 的 256 级灰度 BMP 图像,如图 5(a)、图 5(b) 所示。

在计算 PSNR 和 NC 时,需要首先求出像素的灰度,如果宿主图像是灰度图像就可以直接进行计算,如果宿主图像是彩色图像,则要按照下面的关系先求出像素的灰度值,再进行计算。

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

其中, R, G, B 分别代表原彩色图像的红色 (Red)、绿色 (Green) 和蓝色 (Blue) 分量值。

不同的嵌入系数所得的峰值信噪比 PSNR (Peak Signal

to Noise Ratios)和归一化互相关系数 NC(Normalize Cross-Correlation)的比较如表 2 所示,从表中给出的数据可以发现,水印的相似性和图像的可视性构成了一对矛盾,实际取值需折中考虑两种因素。本文下面的仿真取 $\alpha_r = \alpha_g = \alpha_b = 0.008$ 。

表 1 PSNR 与 NC 对比

嵌入系数($\alpha_r, \alpha_g, \alpha_b$)	峰值信噪比 PSNR(dB)	水印相似度(NC)
$\alpha_r = \alpha_g = \alpha_b = 0.1$	21.6484	0.9770
$\alpha_r = \alpha_g = \alpha_b = 0.02$	35.8733	0.9516
$\alpha_r = \alpha_g = \alpha_b = 0.01$	43.6079	0.8761
$\alpha_r = \alpha_g = \alpha_b = 0.009$	43.8184	0.8369
$\alpha_r = \alpha_g = \alpha_b = 0.008$	44.2022	0.8870
$\alpha_r = \alpha_g = \alpha_b = 0.004$	50.6236	0.7732

在对被嵌入水印的图像进行处理后所提取的指纹图像的相关系数进行比较后可以发现(见表 2),本文提出的算法具有较好的抗缩放和抗剪切性能,对压缩比小的 JPEG 具有抵抗力,但随着压缩比的提高,鲁棒性变差,该算法对小角度的旋转具有一定的鲁棒性,但随着旋转角度的增大,其鲁棒性变差。

表 2 嵌入水印的图像处理后的水印相关系数

缩放系数	水印相似度	JPEG 压缩比	水印相似度	剪切	水印相似度	旋转	水印相似度
0.5	0.8686	1.5	0.8799	1/16	0.8595	30°	0.8870
0.75	0.8758	2.0	0.8374	1/9	0.8459	45°	0.7536
1.5	0.8775	3.3	0.7572	1/4	0.8275	60°	0.6125
2.0	0.7329	6.0	0.6264	1/2	0.7436	90°	0.5488

在将宿主图像和嵌入指纹后的图像对比以及原始指纹图像和提取后的指纹图像对比后可以发现,由于在提取指纹的时候对像素的 R,G,B 通道都除了嵌入系数,致使原来指纹的白色区域在提取后颜色稍有加深(亮度减小),但不影响指纹提取质量,且通过选取不同的通道嵌入系数和结果取整能较好地解决此问题(见图 5)。

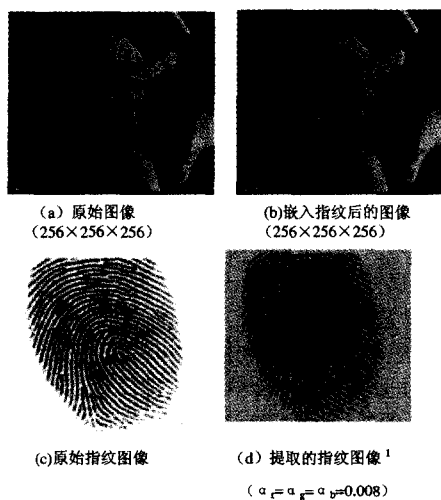


图 5 宿主图像和嵌入指纹后的图像的对比

加指纹的图像经过图像处理提取的指纹水印如图 6 所示,其中(a),(b),(c)是 JPEG 压缩比分别为 1.5,3.3 和 6.0 时所提取的指纹图像;(d),(e),(f)是图像的缩放系数分别为 0.5,0.75 和 1.5 时所提取的指纹图像;(f)和(g)是剪切 1/16 和 1/4 后提取的指纹图像。

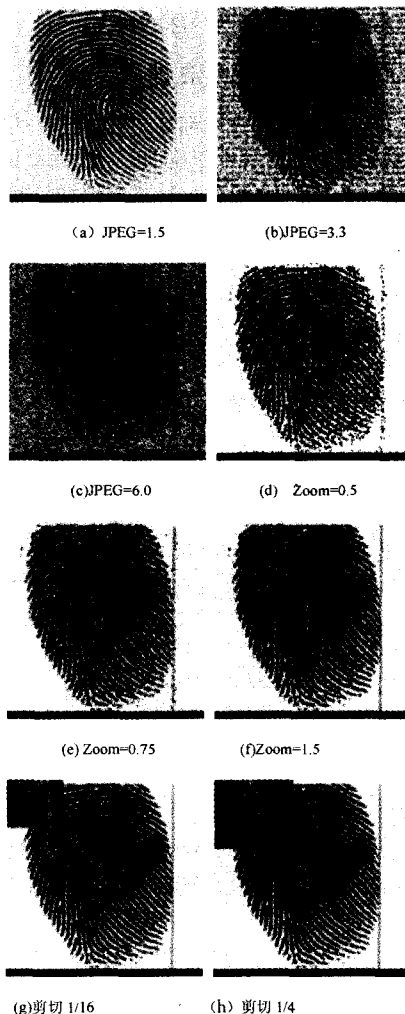


图 6 图像处理提取的指纹水印

结论 本文在对传统数字水印技术作深入研究的基础上,提出了一种将指纹特征数据作为水印信息,嵌入到多媒体数据中的时间/空域水印算法,该算法通过向图像的 R,G,B 信道分别嵌入水印信息,将指纹嵌入到灰度或彩色图像中。经多次仿真实验得出了表 1 和表 2 以及图 5 和图 6 中的结果。实验结果表明,该算法具有一定的鲁棒性。但对彩色图像如何恰当地选择通道分量的嵌入系数以达到最好的效果,以及如何折中可视性与相关性的矛盾是下一步值得继续研究和探讨的课题。

参考文献

- Hartung F, Kutter M. Multimedia Watermarking Techniques [J]. IEEE Processings, 1999, 87(7): 1079~1107
- Hsueh-T, Wu J-L. Hidden Signature in Images. IEEE Trans on Image Processing, 1999(9): 1858~1863
- Cox I J, Kilian J, Leighton T, Shamoon T. Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia. NEC Research Institute, Technical Report 95-10
- 张勇,张春华. 数字水印技术研究与展望[J]. 2003(5): 41~43
- 杨兴江. 数字水印技术研究综述 阿坝师范高等专科学校校报[J]. 2004, 21(4): 95~102
- 孙锐,孙洪,姚天任. 多媒体水印技术的研究进展与应用. 系统工程与电子技术[J], 2003, 25(6): 772~776
- 高尚伟,王峰,李金,等. 彩色数字水印技术研究. 计算机应用, 2002, 21(26): 47~49(转 56)
- 孙圣和,陆哲明,牛夏牧,等. 数字水印技术及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2004, 11
- Gunsel B, Uludag U, A Murat Tekalp, Robust watermarking of fingerprint images. Pattern Recognition, 2002, 35: 2739~2747
- 王小林,高飞. 一种 DWT 域基于 IFS 的数字水印算法. www. 21IC. com
- 李华,朱光喜,朱耀庭. 基于视觉特性和小波分解的数字水印隐藏方法. 通信学报[J], 2000, 21(6): 37~41