

两种基于奇异值分解的图像水印算法的比较研究*

叶建兵

(南京理工大学 泰州科技学院, 江苏 泰州 225300)

摘要: 奇异值分解在图像水印算法中有着广泛的应用,但是也存在高虚警率的缺陷。讨论分析了空域和变换域中经典的奇异值分解水印算法和最近报道的基于主成分的改进算法。通过实验验证了改进算法的有效性。

关键词: 奇异值分解;高虚警率;主成分;粒子群优化算法

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)24-0039-03

Comparison study of two image watermarking algorithms based on singular value decomposition

Ye Jianbing

(Taizhou Institute of Science and Technology, Nanjin University of Science and Technology, Taizhou 225300, China)

Abstract: Singular value decomposition is widely used in image watermarking algorithm, but it also exist high probability of false positive answers. This paper analyzes the classical SVD-based algorithm and the improved algorithm reported recently based on principal components in both spatial and transform domain. Experiments prove the effectiveness of the improved algorithm.

Key words: singular value decomposition; high probability of false positive answers; principal components; particle swarm optimization

奇异值分解是一种重要的矩阵分析工具,在图像处理的众多领域都得到了很多应用。一些基于奇异值分解的图像水印算法存在着高虚警率的缺陷,缺乏实用性。其根本原因在于图像奇异值分解的基空间与图像内容密切相关,奇异值向量并不能刻画图像的结构信息,仅反映图像的亮度信息,与图像之间并不存在一一对应关系。这类算法主要缺陷是提取水印时必然要用到水印图像的基空间,而使用水印图像的基空间与任意图像的奇异值向量总可以合成一个与原始水印图像相似的图像。最近报道的基于主成分的改进算法将水印图像的主成分嵌入到原始图像中,在提取水印时只需要水印图像的一个正交矩阵,较好地解决了这一问题。

1 空域算法

1.1 空域 SVD 算法及改进

参考文献[1]较早地提出了空域中的 SVD 水印算法,算法的嵌入和提取过程如下:

嵌入过程: 设 A 是原始图像,

$$A = USV^T \quad (1)$$

$$S + \alpha W = U_w S_w V_w^T \quad (2)$$

$$US_w V_w^T = A_w \quad (3)$$

抽取过程: 设 A_w^* 是可能失真的水印图像,

$$A_w^* = U^* S_w^* V^{*T} \quad (4)$$

$$U_w S_w^* V_w^{*T} = D^* \quad (5)$$

$$(D^* - S) / \alpha = W^* \quad (6)$$

该算法已经被证实存在高虚警率的问题^[2-3]。改进算法中将水印信息的主成分嵌入在原始图像中,这样在检测端就减少了原始水印的信息的使用,降低了虚警率^[4]。该算法的嵌入和提取过程如下:

嵌入过程: 设 A 是原始图像,

$$A = USV^T \quad (7)$$

$$W = U_w S_w V_w^T = P_w V_w^T \quad (8)$$

$$S_1 = S + \alpha \cdot P_w \quad (9)$$

$$A_w = US_1 V^T \quad (10)$$

其中, $P_w = U_w S_w$ 称为主成分,用来修改原始图像的奇异值矩阵。

抽取过程: 设 A_w^* 是可能失真的含水印图像,

$$A_w^* - A = A_1 \quad (11)$$

$$U^{-1} = A_1 (V^T)^{-1} / \alpha = P_w^* \quad (12)$$

$$P_w^* V_w^T = W^* \quad (13)$$

提取水印需要用到原始图像和水印的一个正交矩阵 V_w ,不是盲检测。

* 基金项目: 泰州市科技发展计划(指导性)项目(2011212)

1.2 实验结果

以 lena 图像作为原始图像,peppers 图像作为水印图像(256×256,8 bit/pixel),如图 1 所示。

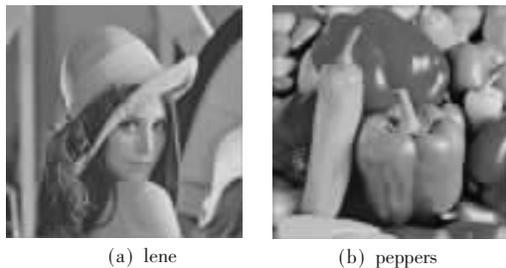


图 1 测试图像

改进算法水印的嵌入和抽取结果显示如图 2 所示。

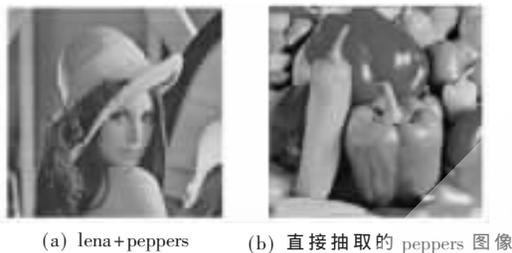


图 2 改进算法水印的嵌入和抽取结果

图 3 是被噪声污染的 lena 图像,其中不含有水印图像。参考文献[1]算法从图 3 中抽取的是 peppers 图像的近似版本,如图 4 所示。改进算法抽取的水印图像无法辨认,如图 5 所示。



图 3 噪声 lena 图像 图 4 参考文献[1]的结果

将 lena+peppers 图像(图 2(a))作为可疑图像,水印抽取时使用 airplane 图像(如图 6 所示)的正交矩阵,参考文献[1]算法抽取 airplane 的一个近似版本,如图 7 所示。改进算法抽取的水印图像无法辨认,如图 8 所示。

2 变换域算法

2.1 DWT-SVD 算法及改进

以 DWT-SVD 水印算法为例,该算法是参照空域

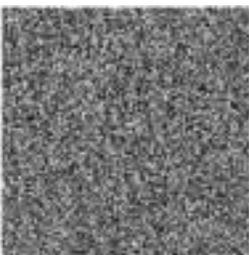


图 5 改进算法结果



图 6 airplane 图像

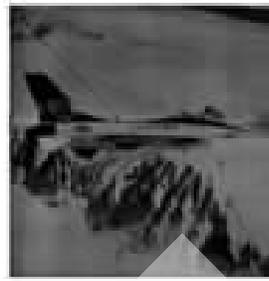


图 7 参考文献[1]的结果

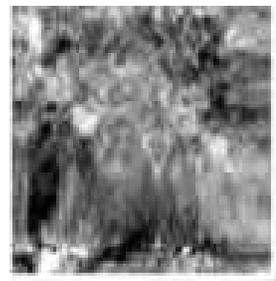


图 8 改进算法结果

SVD 算法改进得到的^[5](这里不再列出),因此同样存在高虚警率的问题^[6-7]。参考文献[8]提出 DWT-SVD 算法的一种改进。

嵌入过程:

- (1) 对原始图像作一层小波分解,得到 4 个子带图像;
- (2) 对每个子带图像进行奇异值分解: $A^k = U_k \Sigma_k V_k^T$, $k=1,2,3,4$ 表示 4 个子带;
- (3) 对水印作奇异值分解: $W = U_w \Sigma_w V_w^T = P_w V_w^T$;
- (4) 修改子带图像的奇异值矩阵: $\Sigma_1^k = \Sigma^k + \alpha_k \cdot P_w$, $k=1,2,3,4$;
- (5) 获得修改后的小波系数: $A^{*k} = U_k \Sigma_1^k V_k^T$, $k=1,2,3,4$;
- (6) 做逆小波变换得到嵌入水印的图像。

其中, $P_w = U_w \Sigma_w$ 称为主成分,用来修改 4 个子带图像的奇异值矩阵。 α_k 是通过粒子群优化算法得到的嵌入强度。

抽取过程:

- (1) 对嵌入水印的图像和原始图像作一层小波分解得到 A^{*k} 和 A^k , $k=1,2,3,4$;
- (2) $A^{*k} - A^k = A_1^k$, $k=1,2,3,4$;
- (3) $(U^{*k})^{-1} A_1^k (V^{*k})^{-1} / \alpha_k = P_w^{*k}$, $k=1,2,3,4$;
- (4) 重构水印(4 个): $P_w^{*k} V_w^T = W^{*k}$, $k=1,2,3,4$ 。

提取水印需要用到原始图像和水印的一个正交矩阵 V_w ,不是盲检测。

2.2 实验结果

使用 lena, Barbara(512×512,8 bit/pixel) 和 peppers, airplane (256×256,8 bit/pixel) 作为测试图像,如图 9 所示。为简单起见,实验时水印的嵌入强度为固定值。



图 9 测试图像

改进算法嵌入和抽取的结果显示如图 10 所示。

将 barbara 图像(未嵌入任何水印)作为可疑图像,改进算法抽取水印的结果如图 11 所示。结果表明,此时抽取的水印图像无法辨认。

将 lena+peppers 作为可疑图像,水印抽取时使用 air-

欢迎网上投稿 www.pcachina.com



图 10 左侧: lena+peppers, 右侧: 抽取的 4 个水印图像

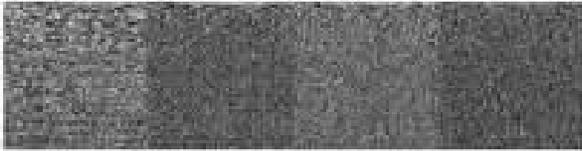


图 11 改进 DWT-SVD 算法的抽取结果

plane 图像的正交矩阵, 改进算法抽取水印的结果如图 12 所示。结果表明, 此时抽取的水印同样无法辨认。



图 12 改进 DWT-SVD 算法得到的 lena+peppers 及抽取的 4 个水印图像

空域和变换域中经典的奇异值分解水印算法存在着高虚警率的缺陷。主要问题在于, 嵌入算法仅仅植入了水印图像的奇异值向量, 没有水印图像在基空间的结构信息, 因而在提取水印时必然要用到水印图像的两个正交矩阵, 导致提取过程过多地依赖于水印图像基空间的结构信息。

最近报道的基于主成分的改进算法将水印图像的主成分嵌入到原始图像中, 在提取水印时只需要水印图像的一个正交矩阵, 较好地解决了这一问题。另外, 改进

算法中使用了粒子群优化算法寻找合适的嵌入强度, 达到了水印的鲁棒性和不可见性之间的平衡。

参考文献

- [1] 刘瑞祯, 谭铁牛. 基于奇异值分解的数字图像水印方法[J]. 电子学报, 2001, 29(2): 168-171.
- [2] Zhang Xiaoping, Li Kan. An SVD-based watermarking scheme for protecting rightful ownership[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2005, 7(2): 593-594.
- [3] RYKACZEWSKI R. An SVD-based watermarking scheme for protecting rightful ownership[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2007, 9(2): 421-423.
- [4] JAIN C, ARORA S, PANIGRAHI P K. A reliable SVD based watermarking scheme[EB/OL]. [2012-09-10]. http://arxiv.org/PS_cache/arxiv/pdf/0808/0808.0309v1.pdf.
- [5] GANIC E, ESKICIOGLU A M. Robust embedding of visual watermarks using DWT-SVD[J]. J. Electron. Imaging, 2005, 14(4): 043004.
- [6] Xiao Liang, Wei Zhihui, Ye J. Robust embedding of visual watermarks using discrete wavelet transform and singular value decomposition and theoretical analysis[J]. J. Electron. Imaging, 2008, 17(04): 501.
- [7] 肖亮, 叶建兵, 韦志辉. 一类基于 SVD 的数字水印虚警分析与改进算法[J]. 南京理工大学学报(自然科学版), 2010, 34(2): 227-231.
- [8] RUN R S, HORNG S J, LAI J L, et al. An improved SVD-based watermarking technique for copyright protection[J]. Expert Systems with Applications, 2012(39): 673-689.

(收稿日期: 2012-09-17)

作者简介:

叶建兵, 男, 1981 年生, 硕士, 讲师, 主要研究方向: 数字水印, 几何多尺度分析与图像处理。