

一种基于 Contourlet 变换的图像内容认证算法

秦娜, 张贵仓, 杨军彦

(西北师范大学 数学与信息科学学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 提出了一种基于 Contourlet 变换的图像内容认证算法。介绍了 Contourlet 变换并分析了其特点, 详细描述了水印的嵌入与提取过程, 采用形态学算子提高了检测率。仿真实验表明, 本算法在保证水印的不可见性的前提下, 对常见的非恶意操作鲁棒而对恶意操作脆弱。

关键词: Contourlet 变换; 图像认证

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)08-0032-03

An algorithm for image content authentication based on Contourlet transform

Qin Na, Zhang Guicang, Yang Junyan

(College of Mathematics and Information Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In this paper, an algorithm used for image content authentication is proposed. In the beginning, Contourlet transform and its characteristics are introduced. Then, the process of embedding and extracting watermarking is depicted. In the end, morphological operator is adopted in the algorithm, and the capacity is improved. The experiment results demonstrate that the proposed algorithm is invisible, robust to non-malicious operation and fragile to malicious operation.

Key words: Contourlet transform; image authentication

近几年来, 随着网络技术的发展, 图像的内容认证也不断发展起来。由于多媒体内容容易被修改, 在内容受到怀疑时, 一个能可靠验证篡改是否发生的真伪鉴别系统就显得非常重要。采用数字水印技术可以实现图像的内容认证。

图像内容认证技术分为基于脆弱水印的精确认证技术和基于半脆弱水印的选择认证技术两大类。轻微的信号处理操作(如高品质的 JPEG 压缩)在许多场合常被认为是可接受的操作, 因此选择性认证更适合于实际应用的需要。半脆弱水印提供了一种实现选择性认证的方法。它是一种对正常图像处理鲁棒而对恶意篡改脆弱的水印。篡改发生时, 半脆弱水印认证系统不仅可以提供篡改的破坏量及篡改位置, 而且可以分析篡改类型。在实际应用中, 为了描述选择性认证系统, 将失真分为合理失真和不合理失真两组。当作品失真为合理失真时, 认证系统应该能让作品通过认证; 相反, 作品则不能通过认证^[1-2]。

过去的十几年里, 研究者们提出了许多用于图像内容认证的半脆弱水印算法, 这些算法大致可以分为空域算法和变换域算法。由于空域算法对非恶意操作的鲁棒性较差, 因此变换域的算法更符合实际应用的需求。1999 年 FRIDRICH 提出了一种基于 DCT 的分块自嵌入

脆弱水印算法, 该算法将图像分为互不相交的 8×8 图像块, 对其高 7 位的 DCT 系数按一定的码长量化编码后, 采用固定“偏移值”嵌入另一图像块的最低位, 从而在定位被篡改图像块的同时, 还可以利用水印信息近似恢复被篡改图像块的内容。一种典型的 DCT 域的半脆弱水印算法是由 LIN 和 CHANG 提出的, 该算法不仅能够检测和定位篡改区域, 还能够较好地抵抗 JPEG 压缩操作(QF=50)。近年来, 基于 Contourlet 的图像水印算法受到重视^[3-5], 这些算法大都将水印嵌入到能量较大的 Contourlet 变换方向子带中, 较好地利用了方向子带的纹理特性。

本文提出了一种基于 Contourlet 变换的半脆弱水印算法。该算法不分块, 避免了块效应和基于分块独立性产生的量化攻击, 能够与现有的压缩标准(如 JPEG、JPEG 2000)结合起来, 能较好地检测出发生的篡改并定位。

1 Contourlet 变换及特性

1.1 Contourlet 变换

Contourlet 变换是利用拉普拉斯塔形分解 LP(Laplacian Pyramid)和方向滤波器组实现的一种多分辨的、局部的、多方向的图像表示方法^[6-7], 因此也可以称作金字塔型方向滤波器组 PDFB(Pyramidal Directional Filter Bank)。PDFB 的过程为: 首先对图像进行 LP 变换和多尺度分析,

《微型机与应用》2012 年 第 31 卷 第 8 期

图形、图像与多媒体

Image Processing and Multimedia Technology

以捕获奇异点;然后由方向滤波器组 DFB 将分布在同方向上的奇异点合成一个系数,这种结构使得 Contourlet 变换具有较优的非线性逼近性能。这一过程在粗糙图像上重复进行,从而将图像分解为多尺度方向子带。图 1 为利用 Contourlet 变换对图像进行分解的过程示意图。

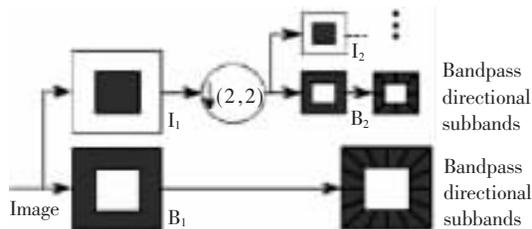


图 1 Contourlet 变换对图像进行分解过程示意图

1.2 Contourlet 变换特性

Contourlet 变换是一种基于图像的几何性变换,具有以下特点:

(1)对图像进行更加灵活的多尺度描述。Contourlet 变换的方向子带更具体地体现了该方向上的轮廓和边缘分布。同时在 Contourlet 变换子带中,方向子带中的奇异点也代表了图像的重要特征系数。利用 Contourlet 变换,既可以提取出图像方向上的纹理特性,又可以提取出图像的重要系数。水印嵌入到这样的方向子带中,能很好地协调鲁棒性与透明性之间的矛盾。

(2)系数的概率分布特性:在零均值上方有尖锐的峰起,同时在峰起的两侧迅速衰减。这样,Contourlet 变换后的方向子带系数边缘概率分布可以用广义高斯模型拟合。假定嵌入的水印信息 $W(x,y)$ 由一个服从于均值为 0、方差为 1 的高斯分布的伪随机实数序列组成,把这样的一个水印嵌入到 Contourlet 变换方向子带的过程,可以看成是两个服从于同分布的信号的叠加。这样不仅满足视觉上的不可见性,而且在数理统计上也是隐蔽的。

(3)由于 LP 的冗余性,Contourlet 变换具有 4/3 的冗余度^[8]。对于水印而言,冗余度意味着有更多的可嵌入空间。

2 算法分析

2.1 数字水印嵌入算法

水印嵌入时对原始图像进行 Contourlet 变换,在其低频子带嵌入水印。具体过程如下:

(1)为了增强水印图像的安全性,对二值水印图像采用 Arnold 置乱变换进行置乱,将置乱次数作为密钥保存。

(2)采用 Contourlet 变换对原始灰度图像进行 2 级拉普拉斯金字塔变换和最精细子带 8 方向分解,提取其低频逼近子图 $cA1$,且满足 $cA1$ 的大小与水印大小相同。

(3)为了实现奇偶量化地嵌入水印,需要计算量化参数:

$$q = (\log_2 1000 E) / 1000 + 10$$

其中, $E = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a(i,j) \times a(i,j)}{m \times n}$ 为低频子带能量值。

(4)改变 Contourlet 变换后的低频子带系数,完成水

印信息嵌入。当水印比特为 1 时, $a(i,j) = (\text{round}(a(i,j) \div q) + 1) \times q$; 当水印比特为 0 时, $a(i,j) = (\text{round}(a(i,j) \div q) - 1) \times q$ 。

(5)进行 Contourlet 逆变换,得到含水印信息的图像。

2.2 水印提取及认证算法

水印的提取过程不需要原始图像,具体过程如下:

(1)对含水印信息的图像进行与水印嵌入阶段相同的 Contourlet 变换。(2)从低频子带中提取水印,若 $\text{mod}(\text{round}(a(i,j) \div q), 2) = 1$, 则 $w'(i,j) = 1$; 否则, $w'(i,j) = 0$ 。遍历低频子带所有系数,得到未反置乱的水印 w' 。(3)利用置乱密钥对 w' 进行反置乱,最后提取二值水印图像。

将提取水印比特与原始水印比特进行比较即可得到水印差图,它可被用于图像篡改区域的定位。具体认证过程为:首先判断归一化相关系数(NC)值,若 $NC \geq T$ (T 为判定阈值),就认为含水印图像通过认证,否则认为含水印图像遭受了恶意攻击;然后根据水印差图获知发生错误的水印比特,并在定位图的相应位置用灰度值 255 表示。通过白点的多少和位置可以判断图像被篡改的程度和位置。

为了提高检测率,采用了形态学算子。根据观察,大多数由非恶意操作引起的虚警误差的分布都是孤立的,而形态学算子作为信号处理中的一个非线性技术可以去除非恶意操作引起的孤立虚检点,使得篡改区域更加紧凑,以此降低虚警率。腐蚀和膨胀是两个最基本的形态学算子,这两个算子又常常被联合起来成为开运算和闭运算。本算法首先使用了开运算,接着使用了闭运算。实验结果证明,形态学算子的使用提高了算法的检测率。

3 仿真实验

为了评价水印算法的性能,本文采用大小为 256×256、位深为 8 bit/pixel 的 Lena 灰度图像进行各种测试。在 Matlab 仿真实验中,Contourlet 变换的 LP 采用“9-7”金字塔滤波器,Contourlet 变换的 DFB 采用“pkva”方向性滤波器。对输入图像 Lena 进行 2 级 LP 分解,得到 1 个近似图像 I_2 和 2 个带通子图像 B_1 、 B_2 ,其中 B_1 为最精细子带图像, B_2 为次精细子带图像。然后分别对 B_1 、 B_2 进行 8 方向分解和 4 方向分解。

3.1 不可见性测试

对原始图像嵌入水印并提取水印,结果如图 2 所示。对水印可见性的评估可以用定量度量方法和主观测试方法。本文对于图像视觉质量的定量描述使用峰值信噪比(PSNR)。通过实验提取的水印的 NC 为 1.00,含水印图像的 PSNR 为 33.005,说明嵌入的水印对于 HVS 具有较好的不可见性。

3.2 非恶意操作的鲁棒性测试

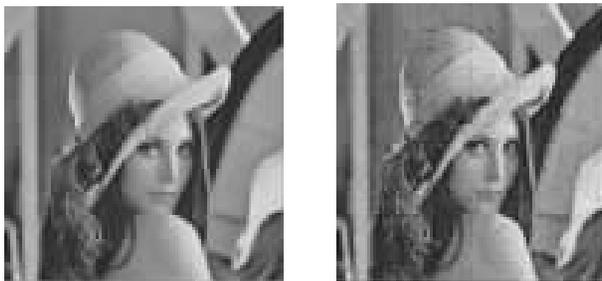
对含水印的 Lena 图进行各种非恶意的操作,提取的水印如图 3 所示。

3.3 恶意操作的脆弱性测试

对含水印的 Lena 图在左上角裁剪原图的 1/16 (6.25%),提取的水印如图 4(a)所示,定位效果如图 4(b)和图 4(c)所示;在左上角裁剪原图的 1/4 (25%),提取的

水印如图 5(a)所示,定位效果如图 5(b)和图 5(c)所示。

统计含水印图像在各种操作的 NC 和 PSNR, 结果如表 1 所示。



(a) 原始图像

(b) 含水印图像



(c) 变换结果



(d) 二值水印



(e) 提取的水印

图 2 嵌入并提取水印的结果



(a) QF=50 的 JPEG 压缩



(b) QF=80 的 JPEG 压缩



(c) 添加椒盐噪声 0.001



(d) 高斯低通滤波



(e) 均值滤波



(f) 维纳滤波

图 3 各种非恶意操作下提取的水印



(a) 提取的水印



(b) 篡改定位图



(c) 篡改定位图

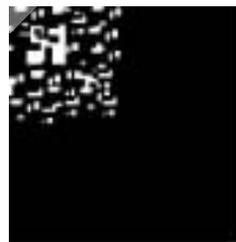
图 4 裁剪原图左上角 1/16 提取的水印效果



(a) 提取的水印



(b) 形态学运算结果



(c) 形态学运算结果

图 5 裁剪原图左上角 1/4 提取的水印效果

表 1 含水印图在各种操作下实验结果统计

图像操作	PSNR/dB	NC
无操作	33.005	1.00
QF=50 的 JPEG	30.195 0	0.966 9
QF=80 的 JPEG	32.539 8	0.986 4
椒盐噪声(0.001)	30.998 8	0.981 5
高斯低通滤波	31.904 9	0.956 5
均值滤波	27.569 1	0.880 2
维纳滤波	30.640 4	0.821 2
高斯噪声(0.001)	30.167 2	0.861 6
裁剪 1/4(左上角)	11.533 8	0.844 7
裁剪 1/16(左上角)	17.470 6	0.957 7

本文提出了一种基于 Contourlet 变换的图像内容认证算法。实验结果表明,本算法在水印嵌入位置的选择和嵌入策略上很好地协调了嵌入水印图像的不可见性和鲁棒性,并能较精确地检测和定位篡改。篡改发生后,如何高质量地恢复图像内容有待进一步研究。

参考文献

- [1] COX I J, MILLER M L, BLOOM J A. 数字水印[M]. 王颖,黄志榕,等,译.北京:电子工业出版社,2003.
- [2] 吴金海,林福宗.基于数字水印的图像认证技术[J].计算机学报,2004,29(9):1153-1161.
- [3] 李海峰,宋巍巍,王树勋.基于 Contourlet 变换的稳健性图像水印算法[J].通信学报,2006,27(4):87-94.
- [4] JAYALAKSHMI M, MERCHANT S N, DESAI U B. Digital water-marking in Contourlet domain[C].The 18th International Conference on Pattern Recognition, 2006(3):861-864.
- [5] BOUZIDI A, BAAZIZ N. Contourlet domain feature extraction for image content authentication[C]. Proceedings of the 2006 International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 2006:202-206.
- [6] DO M N, VETTERLI M. The Contourlet transform: an efficient directional multiresolution image representation. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(12):2091-2106.
- [7] DO M N, VETTERLI M. Contourlets: a new directional multiresolution image representation[J]. Signals, Systems and Computers, 2002(1):497-501.
- [8] 焦李成,孙强.多尺度变换域图像的感知与识别:进展和展望[J].计算机学报,2006,29(2):177-193.

(收稿日期:2012-01-31)

作者简介:

秦娜,女,1982年生,硕士研究生,主要研究方向:数字水印技术,图形图像处理,几何造型。

张贵仓,男,1946年生,博士,主要研究方向:数字水印技术,图形图像处理,几何造型。

杨军彦,男,1985年生,硕士研究生,主要研究方向:数字水印技术,图形图像处理,几何造型。

《微型机与应用》2012年第31卷第8期