

中图法分类号: TP309 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)06-0919-08

论文索引信息: 刘晶, 王映辉, 何文娟. 利用图像边缘构造水印同步信息的新水印算法 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(6): 919-926

利用图像边缘构造水印同步信息的新水印算法

刘晶, 王映辉, 何文娟

(西安理工大学计算机科学与工程学院, 西安 710048)

摘要: 提出一种利用图像边缘和 Directionlet 变换构造水印同步信息的新水印算法。将图像一条显著边缘的方向作为 Directionlet 的变换方向, 与之成特定角度的方向作为队列方向, 据此生成整数栅格的采样矩阵; 水印在每个陪集的中低频子带内自适应嵌入; 以图像显著边缘为一坐标轴建立坐标系, 在该坐标系内检测水印, 可以排除几何攻击对水印位置的影响。实验结果表明, 较之基于 Wavelet 和 Contourlet 的水印算法, 本文方法对抗几何攻击的优势非常突出, 尤其对旋转攻击, 效果更明显。

关键词: Directionlet 变换; 显著边缘; 变换方向; 队列方向; 整数栅格; 陪集

A novel watermarking algorithm based on direction of image specific edge to construct watermark synchronism

Liu Jing, Wang Yinghui, He Wenjuan

(Faculty of Computer Science and Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048 China)

Abstract: A novel watermarking method to construct watermark synchronism by using image specific edge and Directionlet transform was proposed. The direction of the image specific edge is selected as the transform direction of Directionlet, the alignment direction of Directionlet is achieved by forming an invariable angle with the transform direction. The generator matrix of the lattice is given by the two direction vectors. Several copies of watermark are adaptively inserted into coefficients of the selected middle and low frequency subband of all the cost of the lattice. In order to eliminate the effect of geometric attacks, the watermark is detected in the reference frame established by utilizing the direction of the image specific edge as direction of its an coordinate axis. Experimental results show the proposed watermarking algorithm outperforms the Wavelet and Contourlet-based in terms of transparency as well as robustness, especially at the geometric attacks such as rotation.

Keywords: Directionlet transform; specific edge; transform direction; alignment direction; lattice; coset

0 引言

数字水印是随着多媒体技术和计算机网络飞速发展而兴起的一种重要的版权保护手段。近年来, 为取得较好的水印透明效果, 基于小波变换的多尺

度分解方法^[1-3]被广泛运用于数字水印技术中。此类算法的主要思想是首先对载体图像进行小波变换以提取载体图像的细节信息, 然后对提取到的细节信息局部调整后嵌入水印信息, 得到加有水印的图像。该类算法主要是在保留载体图像全局信息不变的基础上, 修改载体图像的细节信息, 从而有效解决

收稿日期: 2010-03-12; 修回日期: 2010-06-17

基金项目: 陕西省重大科技创新项目(2009ZKC02-08); 陕西省教育厅产业化中试项目(09JC08); 陕西省教育厅科学研究计划项目(2010JK700)。

第一作者简介: 刘晶(1973—), 女, 副教授。西安理工大学控制理论与控制工程专业博士研究生, 主要从事多尺度图像处理 and 数字水印技术研究。E-mail: liujing@xaut.edu.cn。

常规信号处理对水印的攻击。然而,小波变换分析 2 维图像不能有效刻画图像的线奇异的几何特征,不能有效挖掘图像的边缘信息^[4],水印后的图像容易引起“马赛克”效应,降低载体图像的视觉质量。针对小波变换在水印技术中的缺陷,目前,出现了一些基于 Contourlet 的水印算法^[5-8],相对于 Wavelet、Contourlet 变换^[9]允许每个尺度上有不同数目的变换方向,其基支撑区间具有随尺度变化、其长宽比随之变化的“各向异性”特点,能够用更少的系数来表达光滑曲线,更好地捕捉图像的边缘信息。文献[5-8]利用 Contourlet 方向子带的纹理特性,较好地协调了水印透明性与鲁棒性之间的矛盾,但 Contourlet 变换的方向滤波器组不具有分离性,导致基于 Contourlet 变换的水印算法有很高的冗余度和计算复杂度。事实上,无论是基于 Wavelet 还是基于 Contourlet 变换的水印算法,都是调整变换系数来嵌入水印,这些变换系数对抗常规信号处理具有鲁棒性,对诸如旋转、缩放、平移、剪切等几何攻击并不具有抵抗性,必须借助于图像的其他特征来定位水印位置。例如:文献[3]通过神经网络学习找到携带水印的系数;文献[8]利用 Harris-Laplace 算子从含水印的图像中提取鲁棒特征点,通过特征点之间的对应关系实现基于 Contourlet 域的水印重同步。本文算法在 Directionlet 的理论和特性研究基础上,提出一种利用 Directionlet 变换自身构造水印同步信息的抗几何攻击水印算法,算法的核心是基于 Directionlet 变换具有指定方向性及其整数栅格理论。将图像某显著边缘的方向作为 Directionlet 的变换方向,水印信息沿着与图像显著边缘成一固定角度的方向重复嵌入到离散像素集中;遭受旋转、缩放、平移、剪切等几何攻击,显著边缘在图像中的相对位置不会改变,水印嵌入区域可以通过显著边缘锁定。理论分析和仿真实验说明,与基于 Wavelet^[3]和 Contourlet^[8]的水印算法相比,本文方法抗几何攻击性具有明显优势。

1 Directionlet 变换

Directionlet^[10-11]是以 1 维小波理论为基础,是小波变换在多方向上的扩展。它不仅保留了标准 2 维小波的可分离滤波、严格临界采样和计算简单等特性,同时还具有各向异性基函数,基函数沿着任何两个有理斜率的方向上都有消失矩,从而满足图像

的多方向特性,实现图像的稀疏表示。它克服了标准 2 维小波不能较好捕捉图像方向特征的缺点,是 Contourlet 之后,又一种新的非常有效的多尺度分析工具。由于 Directionlet 的滤波器组是可分离的,因此相对于 Contourlet,具有实现简单、计算复杂度低等优势。虽然 Directionlet 的提出是为解决图像的稀疏表示,在图像压缩^[12-14]、去噪^[15-16]方面得到广泛应用,但它的变换方向指定特性,可以用来构造水印同步信息,消除几何攻击对水印位置的影响,给水印检测带来便利。

1.1 各向异性基函数

标准 2 维小波变换(2DWT)在其构建的空间里具有各向同性,沿水平和垂直两方向进行变换的次数相同;而各向异性小波变换($AWT(n_1, n_2)$)则可以在两个变换方向上进行不同的变换次数,以 $AWT(2, 1)$ 为例,它沿水平方向进行两次变换,而垂直方向进行一次,标准 2 维小波变换可以用 $AWT(1, 1)$ 表示。当图像中存在 1 维不连续点,例如位于边缘和轮廓的像素,各向同性的小波基函数不能有效地稀疏表示图像,它横断了一个不连续,产生许多大幅度系数。图 1 显示两种基函数描述一幅简单图像边缘的效果,当使用各向同性基函数描述图像边缘时,在不连续处产生很多重要系数(图 1(a));而用各向异性基函数表示时,重要系数要少许多且能很好地逼近图像边缘(图 1(b))。由此看出,各向异性基函数能够稀疏表示图像。

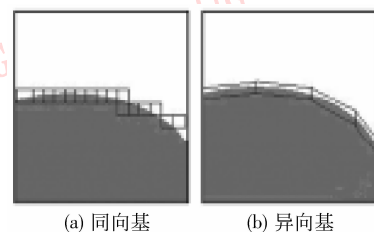


图 1 两种基函数描述简单图像

Fig. 1 Simple image is represented by the two types of basis functions

1.2 方向表示

标准 2 维小波变换对图像分解,只能沿水平和垂直两个方向操作,与其不同的是,Directionlet 变换可以沿图像任意有理方向进行变换。在离散空间 Z^2 里,如果沿任意方向应用一个变换,首先应该锁定该方向上的像素。点阵图中的一组像素点 $I(x, y) \in \mathbf{R}$,如其行列坐标满足式 $y = mx + b$,那么斜率

为 m , 截距为 b 的离散数字线 $L(m, b)$ 可以描述这组像素点。假定某图用 18 个像素(图 2(a)中黑色圆点)显示,现在要对该图沿斜率为 2 的方向进行离散变换,首先将这些像素沿斜率为 2 的方向排列。为了说明排列过程,使用带箭头的线段表示选择像素次序,(a)中带箭头斜线的斜率为 2;(b)(c)中的方格对应(a)中像素的位置,数字标记像素,表示此位置处是哪个像素。排列前该位置处的像素如(b)所示,经过斜率为 2 的数字线分割,并沿箭头指向排列像素之后,各位置上的像素显示在(c)中。首先选择(a)中对应编号 1 的像素、接着沿箭头指向选择 8,15,12,5,16...,然后从下至上、由左到右顺序放入(c)。实际上,(c)中各像素的邻接关系,最终由下面介绍的采样矩阵决定。这里只为了说明进行 Directionlet 变换前,像素如何沿一定方向排列的问题。现在,对(c)表示的图沿水平方向进行变换,就等效于对(a)进行斜率为 2 方向的变换。可见,数字线的应用很好地解决了 Directionlet 沿任意方向进行变换的问题。

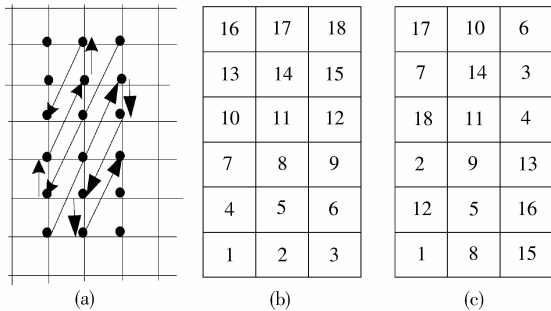


图 2 数字线表示选定方向的像素

Fig.2 The digital line represents the chosen directional pixels

1.3 整数栅格

标准 2 维小波变换分解方向是互相垂直的,而 Directionlet 变换的两个方向之间的夹角可以任意,由此会产生方向感应现象,满足不了图像稀疏表示的要求。通过采用整数栅格对离散空间分割采样,Directionlet 变换克服了方向互感问题。任何一个整数栅格 Λ 都是离散空间 \mathbf{Z}^2 的一个子格,即 $\Lambda \subset \mathbf{Z}^2$ 。栅格 Λ 可由一个非奇异的采样矩阵 \mathbf{M}_Λ 表示(矩阵不唯一):

$$\mathbf{M}_\Lambda = \begin{pmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

其中, $a_1, a_2, b_1, b_2 \in \mathbf{Z}$ 。离散空间 \mathbf{Z}^2 共有 $|\det(\mathbf{M}_\Lambda)|$

个整数栅格 Λ 的陪集,其中每一个陪集由平移向量 $s_n (n=0, 1, \dots, |\det(\mathbf{M}_\Lambda)| - 1)$ 得到。针对每一个陪集,沿着方向斜率为 b_1/a_1 的系列数字线进行 1 维小波变换(图 3(a)),生成新的栅格 Λ' 。由于陪集内各数字线彼此独立,因此,保留下来的像素都能串在方向斜率为 b_2/a_2 的系列数字线上,避免了方向互感效应(图 3(b))。第 1 个方向(斜率为 b_1/a_1)称做 Directionlet 的变换方向,第 2 个方向(斜率为 b_2/a_2)称做 Directionlet 的队列方向。在 Directionlet 的一层分解中,每个陪集都要先沿变换方向进行 n_1 次、再沿队列方向进行 n_2 次 1 维小波变换,共产生 $2^{n_1} \times 2^{n_2}$ 个频域子图。变换方向和队列方向可以确定一个像素的位置,如果将水印信息在每个陪集中频子带嵌入,且将图像某一显著边缘的方向作为 Directionlet 的变换方向,那么图像受到旋转、平移、缩放、剪切等几何攻击,水印的绝对位置无论变化到哪里,只要该边缘存在,都可以根据相对位置找到水印。

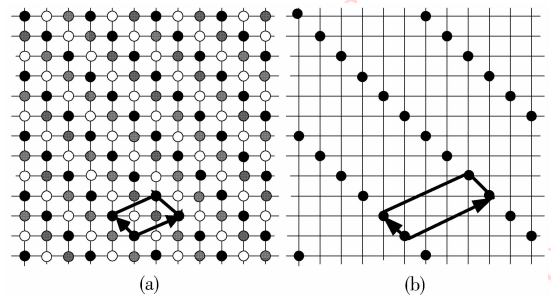


图 3 斜率为 2 和 -1 方向的陪集分解

Fig.3 Cosets decompositions along the slope 2 and -1

2 水印算法的实现

2.1 采样矩阵选取

选取图像边缘前,要对图像进行边缘检测。因为 Canny 算子边缘检测效果好,可以得到最多数目的边缘,每条边缘精细到像素级且连通,所以,文中使用 Canny 算子提取边缘。选取具有直线特性,即斜率为整数的边缘作为 Directionlet 的变换方向。水平或垂直的边缘会使问题简单,同时,也满足采样矩阵 \mathbf{M} 的要求,即 $a_1, a_2, b_1, b_2, d_1, d_2 \in \mathbf{Z}$,为此,将检测到的近似垂直的边缘(图 4 左侧近似竖直的线,图由 Canny 算子运算得到)作为 Directionlet 的变换方向,即 $a_1 = 0, b_1 = 1$ 。整数栅格理论中,两个

矢量 d_1 和 d_2 只要求相互独立,因此,队列方向可以有许多选择。然而,通过采样矩阵 M_A 生成图像的陪集,还要进行多次小波变换。如果陪集的某一维大小不是 2 的整数次幂,那么,最后重构得到的图像会出现划痕。例如,用 $M_A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -3 & 1 \end{pmatrix}$ 对大小为 512×512 的 Lena 图进行陪集分解,得到 3 个大小为 170×512 的陪集。如果各向异性比取为 $AWT(3,2)$ (文献[10]说明选择 3:2 效果好),则每个陪集沿垂直方向进行 3 次 1 维小波变换,再沿 $-1/3$ 方向进行 2 次 1 维小波变换,最后,得到 2^{3+2} 个频域子图,每个子图大小为 43×64 。逆变换后重构图像如图 5 所示,从左上角到右下角出现一条直线带,视觉质量受影响。因此,对队列方向选择时,应确保得到的陪集维数是 2 的整数次幂;除此之外,还需要考虑水印容量。在上述条件下,修改采样矩阵为 $M_A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -2 & 1 \end{pmatrix}$,可以得到两个陪集,大小为 256×512 ,仍取 $AWT(3,2)$,产生 32 个 64×64 频域子图。假设只在一个频域子图内嵌入水印信息,那么可嵌入水印容量为 64×64 。然而,秩相同但采样矩阵不同,对水印有何影响呢? 下面 4 个采样矩阵的秩都为 2: $M_{1A} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -2 & 1 \end{pmatrix}$, $M_{2A} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix}$, $M_{3A} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 2 \end{pmatrix}$ 与 $M_{4A} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 2 \end{pmatrix}$, 分别对 Lena 图采样,每个陪集经 $AWT(3,2)$ 异性小波基分解后,相同水印信息嵌入到小波低频域,水印效果如图 6 所示。由此可以看出,秩相同而采样矩阵不同,即 Directionlet 的变换方向和队列方向不同,水印嵌入的位置及方向也不同。在图 6(a)中,将竖直柱子方向作为采样矩阵 M_{1A} 中的 d_1 矢量方向,水印在它的陪集里嵌入,水印位置与竖直柱子之间的夹角恒定,不会随几何攻击而改变。利用这一特性,本文明显提高了水印抵抗旋转攻击的鲁棒性。需要说明的是,图 6 不是本文水印算法的实验效果,只是为了验证采样矩阵决定水印嵌入位置及方向的结论,特意在低频域大幅度嵌入水印。实际上,当用同一强度水印分别在 32 个频域子图做一遍尝试之后,在第 19、20 频域子图嵌入水印,会在水印透明性与鲁棒性之间协调得最好。实验中用的 Lena、Cameraman 两幅图像,文中取采样

矩阵都为 $M_A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -2 & 1 \end{pmatrix}$, 变换方向 $d_1 = [0 \ 1]$, 对应两幅图像的垂直边缘,分别是 Lena 图中左侧的竖直杆和 Cameraman 图中右处的尖塔;队列方向 $d_2 = [-2 \ 1]$, 为的是产生两个陪集,嵌入水印信息容量为 64×64 大小的二值图;取各向异性比为 $AWT(3,2)$, 进行一层 Directionlet 分解,在两个陪集的 19 频域子图重复嵌入水印。

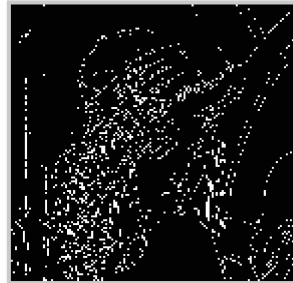


图 4 Canny 算子处理
Fig. 4 Processing via Canny operations



图 5 陪集为 170×512 重构图像
Fig. 5 Image reconstruction by the coset with 170×512

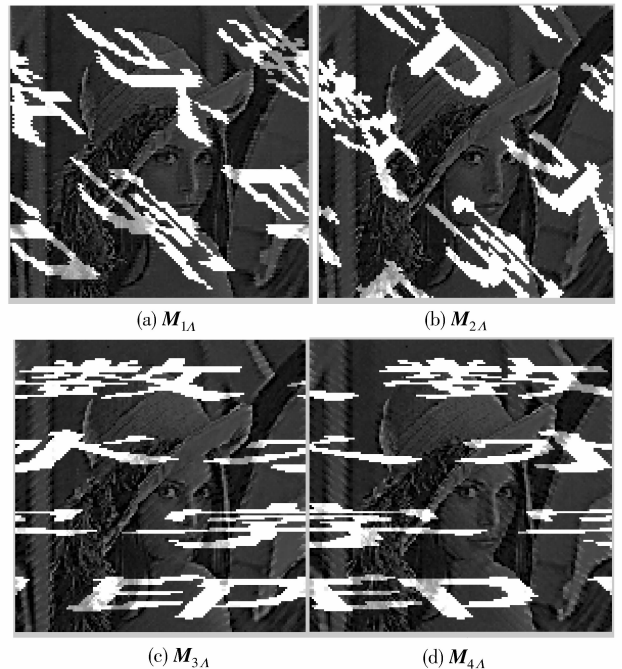


图 6 采样矩阵与水印嵌入方向的关系
Fig. 6 Relation of watermark insert direction with generator matrix

2.2 算法描述

水印嵌入的步骤如下:

1) 按照 2.1 节内容确定 Directionlet 的变换方向和队列方向,其斜率构成采样矩阵 M_A 。

2) 对图像进行 M_A 采样, 得到 $|\det(M_A)|$ 个陪集。

3) 对每个陪集单独处理, 沿变换和队列方向分别进行 n_1 与 n_2 次的 1 维小波变换, 得到 $2^{n_1+n_2}$ 个频域系数子带。

4) 进行一层 Directionlet 分解, 在每个陪集的某一中频子图, 嵌入水印信息。对子图内所有系数进行式(2)操作:

$$I'(x, y) = \text{sgn}(I(x, y) (\text{abs}(I(x, y)) + wB(x, y))) \quad (2)$$

$$w = \left(\sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^n p(x, y) \right) / n^2 \quad (3)$$

式中, w 表示水印嵌入强度的控制参数; $p(x, y)$ 表示某一频域子图系数, 该频域与嵌入水印的频域子图相邻; $I(x, y)$ 为水印前中频子图的系数; 嵌入水印信息后系数变为 $I'(x, y)$; $B(x, y)$ 表示二值水印图像的像素值, 对应一个双极性二值序列。如果水印图像和中频子图一般大小, 在每一陪集内都嵌入水印信息, 则可以增强水印鲁棒性。

5) 对各频域子图和经水印处理的中频子图进行 Directionlet 逆变换。

6) 依据选择的陪集方向将 Directionlet 逆变换系数加权综合, 得到加载水印后的图像。

水印检测的步骤如下:

1) 建立检测坐标系。变换方向对应的图像显著边缘作为一个坐标轴, 与其垂直的方向作为另一坐标轴, 测试图像的左下角坐标可以作为坐标原点。

2) 在该坐标下, 用 M_A 对测试图像采样, M_A 为嵌入过程的采样矩阵, 得到 $|\det(M_A)|$ 个陪集。

3) 对每个陪集, 按嵌入 3) 处理。

4) 找到嵌入水印的中频子图, 对子图内所有系数进行如下操作:

$$\begin{cases} B'(x, y) = 1 & (\text{abs}(I'(x, y)) > \text{abs}(I(x, y))) \\ B'(x, y) = 0 & \text{其他} \end{cases}$$

其中, $B'(x, y)$ 为提取的水印图像; $I(x, y)$ 和 $I'(x, y)$ 分别为载体图像、测试图像对应的中频子图。

5) 进行相似计算

$$NC = \frac{\sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N B(x, y) B'(x, y)}{\sqrt{\sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N B^2(x, y)} \sqrt{\sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N B'^2(x, y)}} \quad (4)$$

3 实验结果与分析

为验证本文水印算法的性能, 实验选取 3 幅 $512 \times 512 \times 8 \text{ bit}$ 的标准灰度图像 Lena、Cameraman 和 Baboon 进行测试, 水印是 64×64 二值图像, 1 维小波变换采用常见的 Haar 小波基, 参数 w 依据载体图像不同而不同, 根据式(3)计算, 3 幅图的 w 值分别为: 8.253 3、6.177 9、15.877 1。对比实验包括基于 Wavelet 的算法(文献[3])和 Contourlet 算法(文献[8])及本文算法。采用峰值信噪比(PSNR)评价载体图像与含水印图像之间的差别, 用原始水印与提取水印的相似度 NC 来评价水印质量。

3.1 检测性能测试

图 7 中, 第 1 行为原始图像。第 2 行 3 幅图是基于 Wavelet 的水印算法效果图, 第 3 行 3 幅图是本文水印算法效果图。从图中可以看出, 峰值信噪比(PSNR)相当时, 小波算法的块效应非常明显, 相比之下, 本文算法的透明效果要好得多, 原始载体图像(第 1 行)与加水印图像(第 3 行)几乎没有视觉差别。可见, 算法能获得很好的透明效果。实验表明, Contourlet 和 Directionlet 水印算法的透明效果大体相同, 笔者认为缘于两者都为非常有效的多尺度

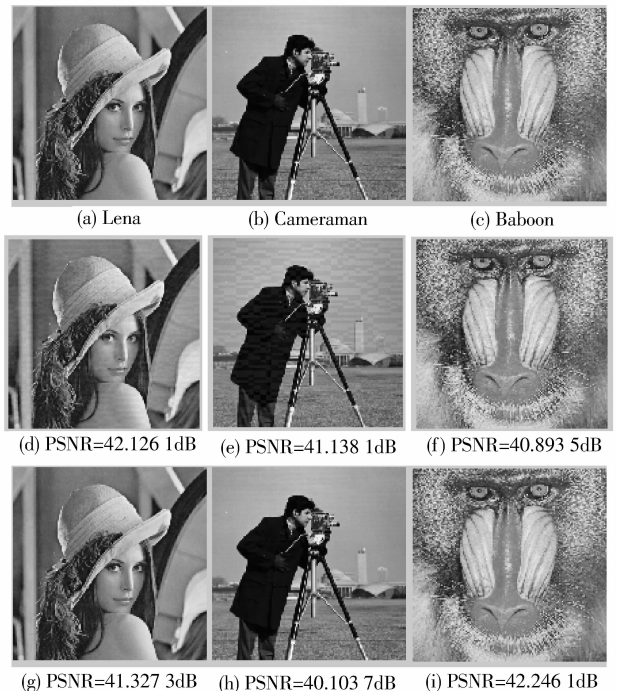


图 7 不同方法获得水印图对比

Fig. 7 Comparison between original images and watermarked images based on the other methods

多方向图像分析工具,限于篇幅限制,这里没有列出 Contourlet 算法的效果图。

3.2 抗攻击能力测试

为了检测本文算法的鲁棒性能,实验中对加水印图像进行常规信号处理攻击及几何攻击。表 1 和表 2 是本文算法和文献[3,8]算法提取水印的相似度对比。表 1 数据说明,对常规信号处理攻击,3 个算法性能不相上下,本文算法并没有特别优势。但

表 2 数据显示,对于几何攻击,尤其旋转攻击,本文算法表现特别强势,例如旋转 30° ,文献[3]算法根本检测不到水印,而本文算法提取的水印相似度却很高,接近 1;对于剪切攻击,如果水印位于参考边缘上(图 8),那么,剪掉参考边,对本文算法必有影响,具体影响见下面的分析;如果剪掉的是非参考边缘部分,3 种算法效果相同;至于平移攻击,3 种算法性能都很好。

表 1 常规信号处理攻击下提取水印的相似度 (NC)

Tab. 1 Correlation values of signal processing attacks

图像	算法	攻击类型				
		JPEG 压缩 30	JPEG 压缩 60	中值滤波	高斯噪声	椒盐噪声
Lena	文献[3]	1	1	0.999 8	1	0.978 9
	文献[8]	0.979 5	0.986 7	1	1	1
	本文方法	1	1	1	1	1
Cameraman	文献[3]	1	1	0.976 4	1	0.996 1
	文献[8]	0.985 9	0.998 3	1	1	1
	本文方法	1	1	1	1	1
Baboon	文献[3]	1	1	0.993 2	1	0.987 9
	文献[8]	0.986 9	0.993 4	1	1	1
	本文方法	1	1	1	1	1

表 2 各种几何攻击下提取水印的相似度 (NC)

Tab. 2 Correlation values of geometric attacks

图像	算法	攻击类型									
		旋转 5°	旋转 15°	旋转 30°	缩放 0.8	缩放 1.2	参考边缘剪切	非水印部位剪切	水印部位剪切	向下平移 5 行	向右平移 5 行
Lena	文献[3]	0.812 1	0.534 1	—	—	—	1	1	0.894 2	1	1
	文献[8]	0.937 6	0.919 7	0.765 2	0.942 6	0.914 5	1	1	0.894 2	1	1
	本文方法	1	1	1	0.998 7	0.999 6	0.935 1	1	0.894 2	1	1
Cameraman	文献[3]	0.845 6	0.614 1	—	—	—	1	1	0.937 9	1	1
	文献[8]	0.937 6	0.919 7	0.765 2	0.942 6	0.914 5	1	1	0.937 9	1	1
	本文方法	1	1	1	1	1	0.893 8	1	0.937 9	1	1
Baboon	文献[3]	0.822 3	0.544 7	—	—	—	1	1	0.913 5	1	1
	文献[8]	0.938 9	0.949 3	0.785 6	0.952 9	0.935 5	1	1	0.913 5	1	1
	本文方法	1	1	1	0.988 4	0.976 6	1	1	0.913 5	1	1

3.3 实验分析

算法的关键是基于 Directionlet 的变换方向可以指定的特性。Directionlet 采样矩阵的一个方向矢量由图像某边缘的方向确定;水印在栅格的所有陪集里嵌入,嵌入方向与图像边缘形成一固定角度;图像受到攻击时,以这条边缘的方向作为一个坐标轴建立坐标系,采用与嵌入相同的采样矩阵,就可以排

除几何攻击对水印位置的干扰。图 8 显示 Lena、Cameraman 两幅图像在旋转 10° 下的检测过程,旋转前的坐标系是 XOY , xoy 坐标系是以图像中的垂直对象(也是 Directionlet 的变换方向)作为坐标轴建立的新坐标系。在图 8(b)(d)中,要想知道水印在 XOY 坐标系中位置,必须估计出图像旋转的角度,即攻击类型;

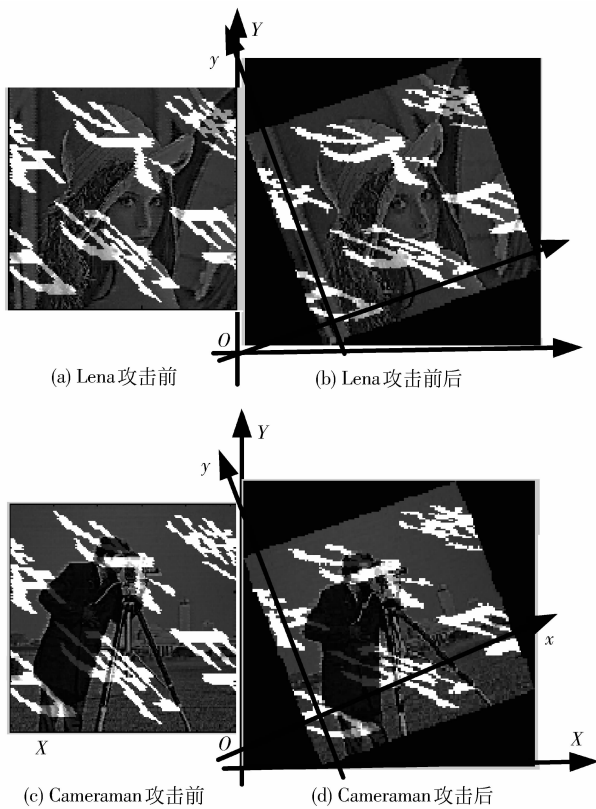


图8 攻击前后的坐标系

Fig. 8 The reference frame between before rotation attack (XOY) and after rotation attack (xoy)

而在 xoy 坐标系中,水印的位置就如同在图 8(a)(c) 中的位置,即嵌入时的位置,根本不需要考虑几何攻击对水印位置的改变。基于 Wavelet 和 Contourlet 的水印算法,由于它们的变换方向只能沿水平和垂直方向,水印检测只能在 XOY 坐标系中进行,避免不了几何攻击对水印位置的影响,因此大大削弱算法的鲁棒性。如果图像中没有 Lena 和 Cameraman 两幅图像中这样特殊的边缘,例如: Baboon 图中,既没有垂直边缘也没有水平边缘,这时,只能选定一条斜率为有理数的边缘,嵌入水印时,以这条边缘的方向构成 Directionlet 变换的采样矩阵;检测水印时,以该方向作为一个坐标轴方向建立检测坐标系。在嵌入水印过程中,还要记录该边缘到载体图像中心的垂直距离,为的是解决算法抵抗等比缩放攻击。如果图像受到缩放攻击,通过测出该边缘到测试图像中心的垂直距离,计算测试图像与原始图像的两个垂直距离之比,可以得到缩放系数, xoy 坐标系下找到测试图像中水印的位置。图像受到剪切攻击的情况可以分为下面 3 类:作为

变换方向的边缘被剪切;非水印部位剪切;水印部位剪切。在第一种情况下,如果图像中还存在和它一致的边缘,此次的剪切攻击对水印提取没有影响,否则,算法失效;如果剪切的部位在非水印位置,例如图 8 中的 Lena 图,剪掉面部部位的大部分,对提取水印没有任何影响;在第 3 种剪切攻击下,水印提取的相似度值与剪掉多少有关,剪掉越多,相似度值越小。

图像进行平移变换,不会影响水印位置与作为变换方向的边缘间的相对位置,因此,能完全提取水印。

对常规信号处理攻击,如 JPEG 压缩、滤波、噪声等会对本文算法造成一定影响,但水印的相似度值足以判断水印存在。这是因为 Directionlet 变换实质是某方向上的多次 1 维小波变换,水印信息又嵌入在小波域中低频区,而 JPEG 压缩、滤波、噪声等操作主要影响频域的高频区系数,对中低频系数的干扰程度不会使算法失效。

4 结论

提出一种 Directionlet 变换域的基于图像边缘方向的水印算法,算法具有以下几个特点:

1) 由于 Directionlet 变换是小波变换在多方向上的扩展,因此,选择 Directionlet 变换域中低频子带作为水印嵌入对象,在整数栅格的每个陪集内自适应嵌入水印(嵌入强度 w 由式(3)计算得到),协调了透明性和鲁棒性之间的矛盾,算法具有很好的透明性。

2) 利用 Directionlet 变换方向可以指定特性,将图像某条边缘方向作为 Directionlet 的变换方向,从而构造水印同步信息。当水印信息在 Directionlet 变换域中嵌入时,因指定的边缘在图像中的位置不会随几何攻击而改变,以指定边缘方向作为坐标轴建立的坐标系,在该坐标系内搜索嵌入的水印信息,可以排除几何攻击的干扰,因此算法具有强鲁棒性。

3) 由于 Directionlet 是基于可分离滤波器组来构建其基函数,计算和实现都简单,因此,与基于 Contourlet 的水印算法相比,大大缩短了运算和运行时间。

仿真实验结果表明,本文算法不仅具有很好的透明性,而且能够十分有效地抵抗旋转、缩放、平移、剪切等几何攻击,以及压缩、滤波、噪声等常规的信号处理的攻击。

参考文献 (References)

- [1] Kang Xiangui, Zeng Wenjun, Huang Jiwu. A multi-band wavelet watermarking scheme [J]. International Journal of Network Security, 2008, 6(2): 121-126.
- [2] Pan Rong, Gao Youxing. Blind image watermarking extraction in DWT domain [J]. Acta Photonica Sinica, 2006, 35(10): 1613-1616. [潘蓉, 高有行. 小波域内的盲水印提取 [J]. 光子学报, 2006, 35(10): 1613-1616.]
- [3] Wang Zhenfei, Zhai Guangqun, Wang Nengchao. Digital watermarking algorithm based on wavelet transform and neural network [J]. Wuhan University Journal of Natural Science, 2006, 11(6): 126-131.
- [4] Jiao Licheng, Sun Qiang. Advances and perspective on image perception and recognition in multiscale transform domains [J]. Chinese Journal of Computers, 2006, 29(2): 177-193. [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.]
- [5] Bouzidi Ali, Baaziz Nadia. Contourlet domain feature extraction for image content authentication [C] // Proceedings of the Second International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing. Victoria, Canada, 2006: 202-206.
- [6] Song Haohao, Yu Songyu, Yang Xiaokang, et al. Contourlet-based image adaptive watermarking [J]. Signal Processing: Image Communication, 2008, 23(3): 162-178.
- [7] Sahraeian S M E, Akhaee M A, Hejazi S A, et al. Contourlet based image watermarking using optimum detector in the noisy environment [C] // Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Image Processing. San Diego, California, U. S. A, 2008: 429-432.
- [8] Lou Oujun, Wang Zhengxuan. A contourlet-domain watermarking algorithm against geometric attacks based on feature template [J]. Chinese Journal of Computer, 2009, 32(2): 308-317. [楼偶俊, 王征旋. 基于特征点模板的 Contourlet 域抗几何攻击水印算法研究 [J]. 计算机学报, 2009, 32(2): 308-317.]
- [9] Do Minh N, Vetterli Martin. The contourlet transform: an efficient directional multiresolution image representation [J]. IEEE Trans. Image on Processing, 2005, 14(12): 2091-2106.
- [10] Velisavljevic V, Beferull-Lozano B, Vetterli M, et al. Space-frequency quantization for image compression with Directionlets [J]. IEEE Trans. Image on Processing, 2007, 16(7): 1761-1773.
- [11] Velisavljevic V, Beferull-Lozano B, Vetterli M, et al. Directionlets: anisotropic multi-directional representation with separable filtering [J]. IEEE Trans. Image on Processing, 2006, 15(7): 1916-1933.
- [12] Bai Jing, Wu Jiayi, Wang Lei, et al. SAR image compression based on lifting Directionlet transform [J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2009, 28(4): 311-315. [白静, 吴家骥, 王磊, 等. 基于提升方向波变换域的 SAR 图像压缩 [J]. 红外与毫米波学报, 2009, 28(4): 311-315.]
- [13] Ding Wenpeng, Wu Feng, Wu Xiaolin, et al. Adaptive directional lifting-based wavelet transform for Image coding [J]. IEEE Trans. Image on Processing, 2007, 16(4): 416-427.
- [14] Wu Jiayi, Shi Guangming, Niu Yi, et al. Directional wavelet transform and block-set partitioning for image coding [C] // Proceedings of the 2007 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communications Systems, Xiamen, China, 2007: 404-407.
- [15] Ma Ning, Ruan Feng, Zhou Zeming, et al. Adaptive speckle reduction in SAR images combining Directionlet transform with local texture direction [C] // MIPPR 2009: Automatic Target Recognition and Image Analysis, Yichang, China, Proc. of the SPIE 2009, (7495): 749542-749542-9.
- [16] Bai Jing, Hou Biao, Wang Shuang, et al. SAR image denoising based on lifting Directionlet domain gaussian scale mixtures model [J]. Chinese Journal of Computer, 2008, 31(7): 1234-1241. [白静, 侯彪, 王爽, 等. 基于提升 Directionlet 域高斯混合尺度模型的 SAR 图像噪声抑制 [J]. 计算机学报, 2008, 31(7): 1234-1241.]