

## Image Watermarking Algorithm Based on Singular Value Decomposition and Contourlet Transform

WANG Jianping<sup>1</sup>, LV Shuwang<sup>2\*</sup>

1. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;  
2. State Key Laboratory of Information Security, Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 10008, China

**Abstract:** Three methods of resisting geometric attacks and the characteristic of Contourlet transform was discussed. A new watermarking algorithm based on contourlet transform is proposed. After the contourlet transform, all sub-bands are decomposed to get singularity values, then watermark is embedded in the biggest ones. Experimental result shows that the algorithm is robust against attacks such as noise and crop. The reliability of watermark extraction was enhanced.

**Key words:** digital watermark; contourlet transform; multiscale geometric analysis; geometric attack  
**EEACC:** 6120B

## 应用 Contourlet 的具有抗几何攻击能力的水印算法

王建平<sup>1</sup>, 吕述望<sup>2\*</sup>

1. 中国科学院研究生院, 北京 100049;  
2. 中国科学院研究生院信息安全国家重点实验室, 北京 10008

**摘要:** 在分析抵抗几何攻击的几种方法以及 Contourlet 变换的特点基础上, 提出了一种基于 Contourlet 变换的水印算法。图像进行 Contourlet 变换后, 对各子带进行奇异值分解, 选择所有子带奇异值中较大的数据作为水印植入点, 这样将水印分散植入各个子带中, 提高抗攻击能力。实验结果表明, 该算法能够抵抗加噪和剪裁等攻击, 具有较强的鲁棒性, 提高了水印识别的可靠性。

**关键词:** 数字水印; Contourlet 变换; 多尺度几何分析; 几何攻击

**中图分类号:** TP391

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-1699(2009)06-0883-04

数字化时代信息容易复制, 网络化使得信息容易传播。随着当前数字化广泛应用和全球网络的普及, 特别是在过去几年中, 数字媒体信息的使用和分布呈爆炸性的增长, 每一年数字信息交易量也是大得惊人。人们通过互联网可以快捷方便地获得数字信息, 同时盗版的传播也变得更加容易, 对数字内容资产的管理和保护成为迫切需要解决的问题。用来保护传统印刷品版权的水印却无法应用到数字信息中。怎样保护数字图像、音视频的版权已经成为一个突出的问题。数字水印技术作为解决该问题的一个有效方法应运而生, 近年来已经取得了很大的进展。经过早期的 LSB、DCT、DFT、DWT 几种图像转换方法后, 第二代水印方案考虑的不是应用像素

或者变换系数, 而是根据数据的重要特征嵌入水印信息, 它把水印和图像本身联系在一起, 大大提高了算法的抗干扰性和隐蔽性, 具有更高的鲁棒性, 目前最新研究方向是多尺度几何分析方法。2002 年, Minh N. Do 和 Martin Vetterli 提出了一种“真正”的图像二维表示法—Contourlet 变换, 这种新的多尺度几何变换, 不仅具有小波变换的多分辨率和时频局部性, 而且提供了高水平的方向性和各向异性<sup>[5]</sup>。目前已经有一些基于 Contourlet 变换的水印算法, 其中文献[6]将水印嵌入带通子图像中, 文献[8]把水印嵌入到低频子带中。本文提出了一种基于奇异值分解与 Contourlet (轮廓波) 变换相结合的水印算法。为增加鲁棒性, 首先对水印图像进行

Arnold置乱,对原始图像进行三层 Contourlet 变换,将 Contourlet 变换后的子带进行奇异值分解,之后将水印图像嵌入所有子带的较大的奇异值中,仿真实验证明了其有效性。

## 1 抗几何攻击的方法

### 1.1 利用几何不变量的抗几何攻击

从原始图像中找到具有几何不变性的量用来隐藏水印,由于具有几何不变性,在水印图像遭受几何攻击后,这些量没有变化,也就是说对于攻击后的图像不用做与植入水印方法相比特殊的处理就可以提取出水印,因而具有较强的抗几何攻击能力。目前在图像处理中常用的几何不变量有几何不变域和几何不变矩两种。几何不变域的典型算法是 Fourier-Mellin 变换,这种变换是先计算图像的 DFT,得到平移不变性,然后对 DFT 的幅值进行对数极坐标变换,将笛卡尔坐标系中的缩放和旋转对应于对数坐标系中的平移,再对对数极坐标上的系数作 DFT,取 DFT 的幅值,得到的空间具有 RST 不变性。几何不变矩通过对矩进行商和幂运算得到,典型代表是 Zernike 矩,它具有旋转不变性,在对图像进行规范化后,提取的 Zernike 矩就可以抗平移和尺度缩放了。

### 1.2 利用辅助基准信息

这种方法的基本思想是:如果知道了图像遭到什么样的几何攻击,对图像进行逆变换,然后可以比较容易提取出水印。同水印一起植入图像的辅助信息是一种特殊的可识别的结构或是模板。模板的嵌入位置往往是变换域的各种系数中,不同的算法体现在组成模板的点数、强度和嵌入位置的不同。水印检测时找出模板点,通过模板点确定水印图像遭受的几何变换。这种方法的一个缺点是如果辅助基准信息的检测失败,那么水印也将提取不出来。

### 1.3 选取图像特征作为植入水印的位置

第二代水印算法使用图像的具有可见性的重要特征嵌入水印,图像的特征如边缘、拐角、文本区域和指定的图像特征等等,对于音频,旋律就是它的特征。适合水印的特征一般应具有以下特点:

对于噪声的不可变性 只选择最重要的内容做特征,如果攻击者还想继续使用数据就不能攻击这些选中的特征点,因为一旦进行这种攻击数据就基本不可使用,它的商业价值将丢失。

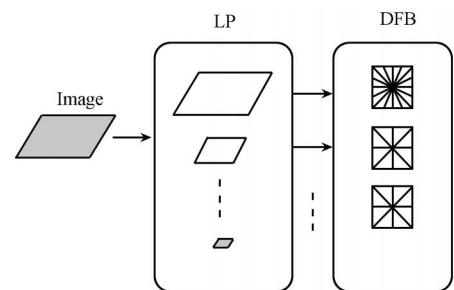
几何变换不变性(旋转、平移和剪切) 对于几何攻击,图像特征点不会被破坏。

局域性 几何攻击时破坏了一部分水印信息,其它部分水印不受影响。

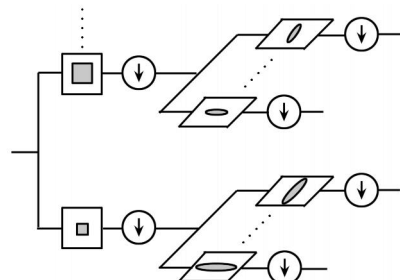
## 2 Contourlets 变换

小波分析对一维有界变差函数类具有最优逼近性能,但是它在一维时具有的优越特性并不能简单地推广到二维或更高维。在处理高维数据时,小波分析不能充分利用高维数据本身所持有的几何特征。发展多尺度几何的目的是为了检测、表示、处理某些高维空间数据,这些空间的主要特点是其中数据的某些重要特征集中体现于其低维子集中。目前提出的多尺度几何分析方法主要有:脊波、曲线波、梳状波、轮廓波、剪切波等。这些新的图像表示方法具有多分辨率、局域性、方向性等特点,对具有曲线奇异的多变量函数的逼近性能有了很大提高,能够充分利用高维数据的几何特征,使得对图像处理能力得到非常大的提升,已经应用到图像压缩、图像融合、图像增强、图像去噪等图像处理中。

Contourlet 变换(PDFB)是多尺度分析研究过程中在曲线波(Curvelet)基础上发展出的新方法(图1)。它是一种多分辨率的、局域的、多方向的图像表示方法,其图像基分布于多尺度、多方向上,能够仅使用少量系数有效地表示平滑轮廓,而平滑轮廓正是自然图像中的重要特征,同时还具有类似于 Curvelet 变换的各向异性尺度关系。Contourlet 变换域内幅值较大的系数在位置上比小波变换系数的分布更集中。在构造的金字塔方向滤波器中,拉普拉斯金字塔首先用于检测点的不连续性,然后用一个方向滤波器把点的非连续性与线性结构联系在一



(a) Contourlet 变换流程图



(b) Contourlet 变换各部分功能

图1 Contourlet 变换

起。其中 LP(拉普拉斯金字塔)分解和 DFB(方向滤波器)都具有完全重构特性,显然,由其组合而成的 PDFB 也能实现完全重构。

### 3 算法步骤

矩阵的奇异值分解是一种将矩阵对角化的正交变换,奇异值具有稳定性、转置不变性、位移不变性、旋转不变性。而轮廓波具有多分辨率的、局部的、多方向特性,能够表现图像的轮廓特征。本文将采用几何不变量和图像特征相结合的方式抵抗几何攻击,把奇异值和轮廓波的特性应用到数字水印当中,特别是在水印嵌入时,将水印嵌入到图像的多个子带中分散嵌入,并且充分利用各子带的较大的奇异值作为水印嵌入点,这样可以提高抗几何攻击能力。

#### 3.1 水印嵌入

为了提高方法的鲁棒性和充分利用图像特征,我们将水印嵌入到 Contourlet 子带矩阵分解的较大奇异值中。水印的图像取二值图像,长为  $m$  宽为  $n$ ,令  $N = m \cdot n$ 。将水印图像转换为长为  $N$  的一维数组。

Contourlet 水印嵌入算法的实现步骤为:

第 1 步 读入原始图像和水印图像,对原始图像进行 3 次 Contourlet 变换,本文 LP 和 DFB 滤波器均取为 'pkva'。对水印信息进行多次 Arnold 置乱变换,将置乱后的水印图像转换为长度为  $N$  的一维数组为  $W(N)$ 。

第 2 步 分别求 Contourlet 分解后的各方向子带的奇异值,取出奇异值中非零值进行从大到小排序,令排序后的一维数组为  $A(p)$ ;

第 3 步 将水印信息嵌入前  $N$  个较大的奇异值,按照如下公式嵌入水印:

$$B(k) = \alpha \cdot W(k) + A(k) \quad k = 1, 2, \dots, N$$

其中  $W(k)$  表示水印信息数组  $W(N)$  中的第  $k$  个值,代表嵌入水印的强度, $A(k)$  表示奇异值排序后的第  $k$  个值, $B(k)$  表示嵌入水印信息后的第  $N$  个奇异值。

第 4 步 将已嵌入水印的奇异值恢复到各个子带的奇异值矩阵中,与对应的酉矩阵一起重构 Contourlet 各子带。

第 5 步 对 Contourlet 各子带进行 Contourlet 逆变换,得到嵌入水印的数字图像。

#### 3.2 水印提取

第 1 步 对含有水印的图像进行 Contourlet 变换,分解层次和嵌入水印时一样都是 3 层,LP 和 DFB 滤波器也和嵌入水印时一样;

第 2 步 求 Contourlet 分解后的各子带的奇异值,并把这些奇异值一起进行按大小排序;

第 3 步 根据排序结果取出前  $N$  个较大的奇异值与植入水印前的  $A(k)$  的前  $N$  个奇异值相减得到差值信号;

第 4 步 对差值信号取其符号函数,得到  $N$  个二进制值,将这  $N$  个二进制值重构为二值水印图像。

### 4 实验和分析

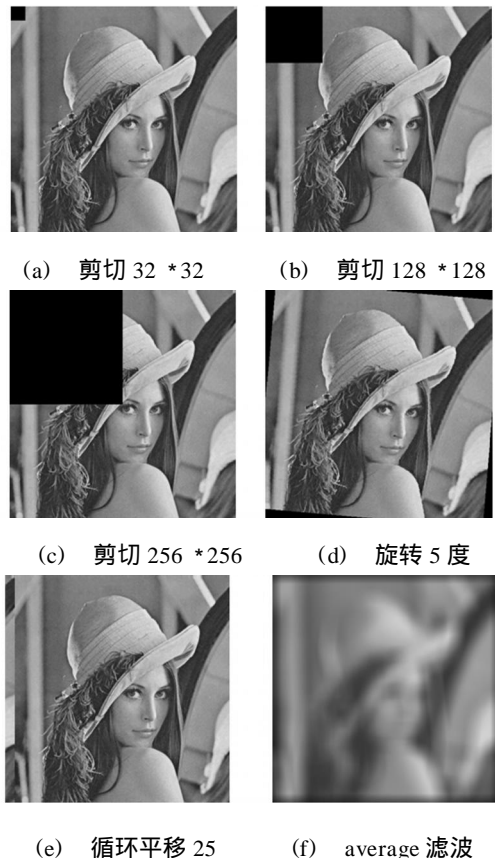
采用相关系数来评价算法抗攻击的能力,设初始水印为  $W(i, j)$ ,提取的水印为  $W^*(i, j)$ ,相关系数  $NC$  为

$$NC = \frac{\sum_{i,j} W(i, j) W^*(i, j)}{\sqrt{\sum_{i,j} W(i, j)^2 \sum_{i,j} W^*(i, j)^2}}$$



图 3 (a) 原始图像 (b) 嵌入水印的图像 (c) 水印图像

试验结果:



(a) 剪切 32 \* 32 (b) 剪切 128 \* 128 (c) 剪切 256 \* 256 (d) 旋转 5 度 (e) 循环平移 25 (f) average 滤波



(g) 椒盐噪声 (h) 高斯噪声

图4 各种攻击

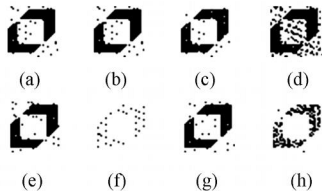


图5 各种攻击对应提取出的水印

表1 进行各种攻击后提取的水印的NC值

(a)	(b)	(c)	(d)
0.971 0	0.952 7	0.972 5	0.786 3
(e)	(f)	(g)	(h)
0.958 8	0.8080	0.9679	0.8899

试验中同时发现以下几个规律:

采用细线条水印图像比粗线条水印图像具有更好的抗攻击能力。

Arnold置乱次数在一定范围内越大,本算法越具有抗攻击能力。

代表嵌入水印的强度的在一定范围内越大,本算法越具有抗攻击能力。

## 5 结论

本文提出了一种基于 Contourlet 变换的第二代数字水印的嵌入和提取算法,利用了人类视觉系统(HVS)的某些特性和奇异值分解的数学意义和特点,将待嵌图像进行 Contourlet 变换,用水印信息修改原图的奇异值,达到嵌入水印的目的。采用 Contourlet 变换提取信号多尺度和多方向上的信息,对 Contourlet 变换系数进行奇异值分解,在各

个子带中分别嵌入水印,根据数据的重要特征嵌入水印信息,具有良好的透明性、安全性和抵抗滤波、噪声、几何攻击的能力,对一般的图像处理方法具有较高的抵抗能力。

## 6 下一步工作

本算法是基于奇异值分解的水印算法,提取水印时需要用到原图像的奇异值分解信息,不是盲水印,接下来将研究基于奇异值分解的盲水印算法,还将研究基于 Contourlet 变换的各种改进在水印中的应用效果:

- (1) 基于小波变换的 Contourlet 变换
- (2) 无下采样的 Contourlet 变换
- (3) 基于对比度金字塔变换的 Contourlet 变换

## 参考文献:

- [1] CHANG Chir-Chen, TSAI Piyu, LIN Chiar-Chen. SVD-Based Digital Image Watermarking Scheme[J]. Pattern Recognition Letters, 2005, 22:1577-1586.
- [2] DO M N, VETTERLI M. The Contourlet transform: an Efficient Directional Multiresolution Image Representation[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(6):760-769.
- [3] Atrousseau F, Callet P Le. A Robust Image Watermarking Technique Based on Quantization Noise Visibility Thresholds [J]. Elsevier Signal Processing, 2007; 87(6):1363-1383.
- [4] 郑融. 基于 DWT—SVD 域的鲁棒数字图像水印算法[J]. 黄石理工学院学报. 2008, 2, 24(1):25-29.
- [5] 焦李成, 谭山. 图像的多尺度几何分析: 回顾和展望[J]. 电子学报. 2003, 12, 31(12A):1975-1981.
- [6] 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, 4, 27(4):87-94.
- [7] 马燕, 李竹林, 杜利锋. 改进的奇异值分解算法在数字水印技术中的应用[J]. 微电子学与计算机. 2008, 3, 25(3):111-113.
- [8] 曾凡娟, 周安民. 基于 Contourlet 变换和奇异值分解的图像零水印算法[J]. 计算机应用. 2008, 8, 28(8):2033-2035.
- [9] 龚薇, 斯科, 叶秀清. 一种强鲁棒性的实时图像增强算法[J]. 传感技术学报. 2007, 20(9):2024-2028.
- [10] 韩芳芳, 徐爽, 郑德忠. 关于数字图像压缩中小波基选择问题的探讨[J]. 传感技术学报. 2004, 17(1):154-157.



王建平,男,在职研究生,中国科学院研究生院工程教育学院,研究兴趣:数字水印。毕业于北方交通大学,获得计算机科学与技术系学士学位。本科毕业后又攻读中国科学院研究生院工学硕士学位。



吕述望,男,研究员,博士生导师,1941年生,江苏沐阳人。1965年毕业于中国科技大学无线电电子学系自动控制专业,长期在中国科学院研究生院 DCS 中心和信息安全国家重点实验室从事密码与信息安全研究与教学工作。主要研究方向是密码与信息安全技术。参与创建数据与通信保护研究教育中心(DCS),信息安全国家重点实验室,北京知识安全工程中心(PKSEC),探索数字世界中安全研究的新方向。