

二维工程图中基于分数傅里叶变换的盲水印算法

康菁菁, 张汗灵

(湖南大学 计算机与通信学院, 长沙 410082)

(kangjj628@163.com)

摘要:提出了一种基于二维工程图的水印算法。该方法提取二维工程图中线段的相对坐标向量,构造一维复数信号。通过分数傅里叶变换得到复数信号的变换系数,根据水印的大小和分数傅里叶变换系数的之间的关系,对变换系数的幅值进行调整来嵌入水印。该方法是盲水印算法,在提取水印时不需要原始工程图。实验表明,该算法对平移、旋转、缩放等攻击具有良好的鲁棒性,同时具有良好的安全性。

关键词:二维工程图;分数傅里叶变换;数字水印

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A

Blind watermarking algorithm for 2D engineering graphics based on fractional Fourier transform

KANG Jing-jing, ZHANG Han-ling

(School of Computer and Communication, Hunan University, Changsha Hunan 410082, China)

Abstract: A new method of digital watermarking for two-dimensional engineering graphics was proposed. In this method, the relative coordinate vectors of the lines were extracted from 2D engineering graphics for constructing a 1D complex signal. Watermark was embedded into the module of fractional Fourier transform coefficients of the complex signal based on the relationship between the values of watermark and transform coefficients. It is a blind watermarking algorithm due to the fact that watermark can be extracted without original engineering graphic. Experimental results show that the proposed algorithm is robust against the attacks such as moving, rotation, scaling, and is also safe towards illegal information extraction.

Key words: 2D engineering graphic; fractional Fourier transform; digital watermarking

0 引言

随着数字技术的发展,Internet应用日益广泛,由于数字媒体因其数字特征极易被复制、篡改、非法传播,以及蓄意攻击,其版权保护已日益引起人们的关注。数字水印技术作为一种有效的版权保护和信息安全的手段近年来被广泛地研究。数字水印技术是指在数字化的数据内容中嵌入不明显的记号。被嵌入的记号通常是不可见或不可察觉的,但是通过一些计算操作可以被检测或被提取。

从国内外发表的大量文献可知,当前的数字水印技术主要是针对静止图像、视频和音频等传统的媒体类型,而对于二维工程图的水印研究则相对较少。工程图是一种矢量图形,它是由一些几何图元表示的,与栅格图像相比,它具有数据量小、精度高、交互性好等特点,而且对二维工程图操作的工具有很多,很容易对其进行几何操作。这些使得对其进行水印的嵌入较通常的图像要困难。

近些年出现了一些在工程图中嵌入水印的方法。文献[1]通过修改实体的顶点坐标值,改变直线长度、圆半径和弧的角度来嵌入水印信息。文献[2]通过修改二维工程图中各实体顶点间的距离比例来嵌入水印。文献[3-4]中分别提出了基于傅立叶描述子和混沌的小波域的二维工程图水印算

法。综合已有的研究发现,目前二维工程图水印算法的研究主要集中在非盲检测算法上,而针对盲检测水印算法的研究和相关文献还比较少。

考虑到非盲检测水印算法在实际应用中的局限性,本文结合分数傅里叶变换的性质,提出了一种二维工程图盲水印算法。新算法具有良好的稳健性和不可见性,能抵抗平移、旋转、缩放,以及这些攻击的组合。

1 算法描述

工程图是由一系列的图形元素构成的,如点、线段、圆、曲线等。现有的算法多是直接对顶点坐标进行变换处理,嵌入水印,然而由于二维工程图中各顶点之间的距离不规则,相互关联性较小,使得各种几何攻击对算法提取的影响较大。本文选取工程图中数量最多的线段来嵌入水印信息,根据线段在工程图文件中的存储特点,提出了线段的相对坐标向量的概念,在此基础上结合分数傅里叶变换的线性性质,使嵌入水印的载体在面对平移、旋转、缩放等攻击时,能保持良好的稳定性。图1、2为算法的流程图。

1.1 分数傅里叶变换及其基本性质

分数傅里叶变换是常规傅里叶变换在分数级次上的推广和延伸,函数 $g(x)$ 的 α 级次的分数傅里叶变换的定义为^[6]:

收稿日期:2008-12-22;修回日期:2009-02-25。

基金项目:湖南省自然科学基金资助项目(08JJ4019);长沙市科技计划项目(k0803106-11)。

作者简介:康菁菁(1984-),女,湖南长沙人,硕士研究生,主要研究方向:图形图像、数字水印;张汗灵(1968-),男,湖南邵阳人,副教授,博士,主要研究方向:信号处理、图像处理、信息隐藏。

$$G(\xi) = F_1^\alpha \{g(x)\} = \begin{cases} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[j\frac{\xi^2 + x^2}{2\tan\varphi} - j\frac{\xi x}{\sin\varphi}\right] g(x) dx, & \varphi \neq k\pi, k \in \mathbb{Z} \\ g(\xi), & \varphi = 2k\pi, k \in \mathbb{Z} \\ g(-\xi), & \varphi = (2k+1)\pi, k \in \mathbb{Z} \end{cases} \quad (1)$$

其中: $F_1^\alpha \{\cdot\}$ 表示一维分数傅里叶变换, $\varphi = \alpha(\pi/2)$ 。 α 为分数傅里叶变换的级次, 当 $\alpha = 1$ 以及 $\alpha = -1$ 时退化成常规的傅里叶变换及逆变换。级次为 $-\alpha$ 的分数傅里叶变换是级次为 α 的变换的逆变换。

分数傅里叶变换是线性变换, 即有:

$$F^\alpha \{Ag(x) + Bh(x)\} = AF^\alpha \{g(x)\} + BF^\alpha \{h(x)\} \quad (2)$$

α 阶和 β 阶变换依次作用的结果相当于 $(\alpha + \beta)$ 阶的一次变换, 即:

$$F^\alpha \{F^\beta \{g(x)\}\} = F^\beta \{F^\alpha \{g(x)\}\} = F^{\alpha+\beta} \{g(x)\} \quad (3)$$

分数傅里叶变换是一种介于函数与其傅里叶变换之间的信号双域描述, 自 1993 年 Ozaktas 和 Lohmann 将分数傅里叶变换引入光学信息处理领域以来备受瞩目, 已经成为了信号处理领域一个有力的数学工具。同样具有空域和频域双域信息表达能力, 但与小波变换不同的是分数傅里叶变换是全域的。它还存在一个分数级次, 一般地, 分数级次 α 可在 $[0, 1]$ 自由选择, 在不知道级次的情况下, 人们很难通过水印图得到水印信息。这为水印算法带来了一个自由度, 不仅使得水印的安全性增加, 而且为水印算法的优化设计提供了简便可行的方法。

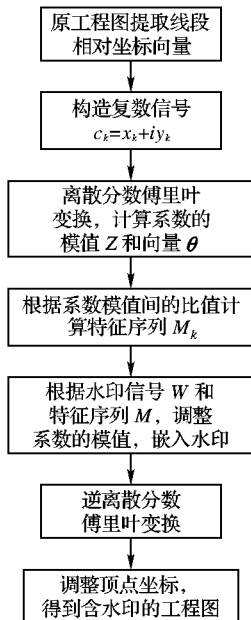


图1 水印嵌入算法流程

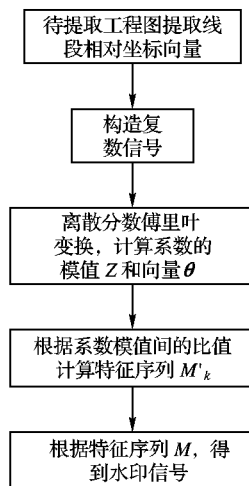


图2 水印提取算法流程

1.2 水印嵌入算法

1.2.1 线段相对坐标向量的提取

线段在存储时, 是由它的两个端点坐标 (x_1, y_1, z_1) (x_2, y_2, z_2) 来表示的, 其中 $z_1 = z_2 = 0$, 由此可以定义线段的相对坐标向量 $L = (x_2 - x_1, y_2 - y_1)$ 。

假设水印信号的长度为 N , 从工程图中提取 $(N+1)$ 条线段的相对坐标向量, 按存储顺序排列, 形成线段相对坐标向量序列 $\{L_k\}$ ($L_k = (x_k, y_k)$), 并由式(4)产生一个复数序列 $\{c_k\}$:

$$c_k = x_k + iy_k; \quad k = 0, 1, \dots, N \quad (4)$$

1.2.2 水印的嵌入

1) 对线段相对坐标向量序列 $\{c_k\}$ 做级次为 α 的一维离散分数傅里叶变换, 可以得到序列的分数傅里叶频谱 $Faf = F^\alpha \{C\}$ (C 表示序列 $\{c_k\}$), 得到的变换频谱 Faf 是一个长度为 $N+1$ 的复数序列。它的系数的模值和相位为

$$Z_k = \text{abs}(d_k); \quad k = 0, 1, \dots, N \quad (5)$$

$$\theta_k = \text{angle}(d_k); \quad k = 0, 1, \dots, N \quad (6)$$

其中 d_k 表示分数傅里叶频谱 Faf 的系数值。

2) 选取序列中第一个系数 d_0 的模值 Z_0 作为参照。计算特征序列 $\{M_k\}$, 式中 p 为一个常量

$$M_k = \text{floor}\left(\frac{Z_{k+1}}{pZ_0}\right); \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (7)$$

3) 根据水印信号 W 和特征序列, 调整变换频谱系数的模值, 完成水印嵌入。

当 $W_k = 1$ 时:

$$Z'_{k+1} = \begin{cases} pZ_0 M_k, & \text{mod}(M_k, 2) = 1 \\ pZ_0 (M_k + 1), & \text{mod}(M_k, 2) = 0 \end{cases} \quad (8)$$

当 $W_k = 0$ 时:

$$Z'_{k+1} = \begin{cases} pZ_0 M_k, & \text{mod}(M_k, 2) = 0 \\ pZ_0 (M_k + 1), & \text{mod}(M_k, 2) = 1 \end{cases} \quad (9)$$

其中 $k = 0, 1, \dots, N-1$ 。

4) 根据修改后的分数傅里叶系数模值和未改变的相位, 求出嵌入水印后的分数傅里叶系数:

$$d'_{k+1} = Z'_{k+1} \cos(\theta_{k+1}) + iZ'_{k+1} \sin(\theta_{k+1}) \quad (10)$$

其中 $k = 0, 1, \dots, N-1$ 。

5) 进行逆分数傅里叶变换, 得到嵌入水印后的线段相对坐标向量序列 $\{L'_k\}$, $k = 0, 1, \dots, N$ 。

6) 线段的原起点坐标值不变, 根据嵌入水印后的相对坐标向量, 调整线段终点坐标值, 得到嵌入水印的工程图。

1.3 水印的提取和检测

水印提取基本上是水印嵌入的逆过程。本文所采用的是盲水印算法, 在提取时不需要原工程图作为参照。设待提取工程图为 G' , 首先提取工程图的线段相对坐标序列, 并构造复数信号, 方法与嵌入算法中相同。然后对复数信号做级次为 α 的分数傅里叶变换得到分数傅里叶频谱 Faf' 。求出 Faf' 的系数的模值和相位 $Z''_k = \text{abs}(d''_k)$, $\theta''_k = \text{angle}(d''_k)$, 再求出特征序列 $\{M''_k\}$:

$$M''_k = \begin{cases} \text{floor}\left(\frac{Z''_{k+1}}{pZ''_0}\right), & \frac{Z''_{k+1}}{pZ''_0} < \text{floor}\left(\frac{Z''_{k+1}}{pZ''_0}\right) + 0.5 \\ \text{floor}\left(\frac{Z''_{k+1}}{pZ''_0}\right) + 1, & \frac{Z''_{k+1}}{pZ''_0} \geq \text{floor}\left(\frac{Z''_{k+1}}{pZ''_0}\right) + 0.5 \end{cases} \quad (11)$$

由特征序列 $\{M''_k\}$ 可以得到水印信号 W'' :

$$W''_k = \begin{cases} 1, & \text{mod}(M''_k, 2) = 1 \\ 0, & \text{mod}(M''_k, 2) = 0 \end{cases} \quad (12)$$

最后利用提取的水印 W'' 和原始水印 W 的相似性来检测其是否为嵌入的水印, 并且衡量攻击手段所导致的水印信息的失真程度。假设水印长度为 N , 相关系数 $\text{Cor}(W, W'')$ 定义如式(13), 根据实验确定阈值, 如果相关系数大于阈值, 则认为它是嵌入的水印序列, 否则就不是, 或者水印被破坏。

$$Cor(W, W'') = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} [(W_i - \bar{W})(W''_i - \bar{W}'')] }{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} (W_i - \bar{W})^2 \sum_{i=0}^{N-1} (W''_i - \bar{W}'')^2}} \quad (13)$$

其中 \bar{W} 和 \bar{W}'' 分别为 W 和 W'' 的均值。

2 性能分析和实验结果

实验中使用如图3所示的工程图,其中包含1388条直线,选取常量 $p = 0.0002$,分数傅里叶变换级次 $\alpha = 0.75$,图4为嵌入了一幅 30×30 二值图像图5后的工程图。经过比较,嵌入水印前后,工程图在视觉上没有明显区别。水印算法有良好的透明性。

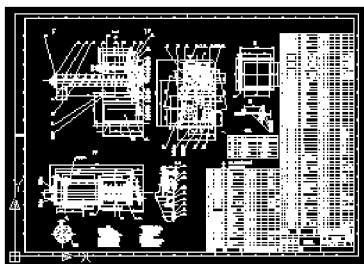


图3 原始二维工程图

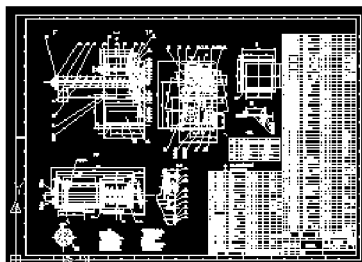


图4 含水印的二维工程图



图5 水印图像

本算法仅对工程图中的线段的终点坐标做细微的修改,

表1 不同变换级次 α 和常量 p 下对应的 MSE 、 $PSNR$ 、 SNR

p	$\alpha = 0.2$			$\alpha = 0.5$			$\alpha = 0.8$		
	$MSE(10^{-4})$	$PSNR$	SNR	$MSE(10^{-4})$	$PSNR$	SNR	$MSE(10^{-4})$	$PSNR$	SNR
0.00002	2.27	131.07	123.31	4.30	125.51	117.76	9.36	118.73	110.98
0.00010	11.62	116.90	109.14	21.95	111.39	103.63	45.37	105.07	97.32
0.00020	22.70	111.03	103.27	42.82	105.59	97.83	90.63	99.06	91.30

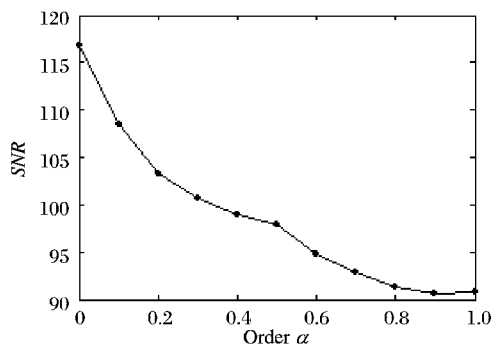


图6 $p = 0.0002$ 时,不同分数级次下水印图的信噪比

常量 p 和分数傅里叶变换级次 α 所提供的两个自由度相当于水印嵌入密钥,能很好的保证水印安全性。

2.3 抗攻击能力分析

2.3.1 平移

假设 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) 是线段的两个顶点,则线段的相对坐标向量为 $(x_2 - x_1, y_2 - y_1)$,坐标沿 x 轴方向平移 a , y 轴方

不会影响图中的图层、实体位置、结构、实体间的相互关系等,也不会对图中的标注和文字做改动,因此不会对工程图的实际应用造成影响。

2.1 水印嵌入容量分析

算法是通过修改线段的顶点坐标来嵌入水印信息的,一条线段只能嵌入1比特的信息。而且算法中需要选取一条线段作为基准量,这条线段中没有嵌入水印。因此对于一幅包含 n 条线段的二维工程图,理论上的水印嵌入容量为 $(n - 1)$ 比特。

2.2 安全性分析及参数对水印性能的影响

本文算法存在两个可自由选择的参数,常量 p 和分数傅里叶变换级次 α 。分析算法可知,算法对分数傅里叶变换系数模值的修改量在 $\pm pZ_0$ 之间。 p 值可根据情况任意选取。水印提取过程中,在不知道 p 的情况下,特征序列 $\{M''_k\}$ 无法计算获得,也就无法获取正确的水印信号。表1是不同变换级次 α 和常量 p 下嵌入水印,得到的 MSE (均方差)、 $PSNR$ (峰值信噪比)、 SNR (信噪比)。从表中可见, MSE 很小,仅为 $10^{-3} \sim 10^{-4}$,说明本文的算法对工程图的影响很小;当变换级次 α 相同时,随着常量 p 值的增大,相应的 MSE 增大,而 $PSNR$ 、 SNR 减小,说明对工程图的影响增大。

而分数傅里叶变换级次 α 的存在,为算法提供了另一个自由度。变换的分数级次可在 $[0, 1]$ 内自由选择,信号做不同级次的变换时,频谱互不干扰,因此在 α 未知的情况下,水印也将无法提取。常量 $p = 0.0002$ 时,不同级次的分数傅里叶变换下水印嵌入,所得的水印工程图的信噪比曲线如图6所示。图中可以看出算法的整体特性,在分数级次较小的区域内保持了空域水印算法较高的信噪比,而在较大的区域范围内其特性与频域水印算法相似。因此在优化的过程中,应尽量选取分数级次较小的区域。一般级次应选择 $\alpha < 0.5$ 。因为分数傅里叶变换在变换级次较小时其频谱的幅值分布比较分散,所以表现出较好的性能。

向平移 b 后,线段顶点坐标变为 $(x_1 + a, y_1 + b)$ 、 $(x_2 + a, y_2 + b)$,其相对坐标向量仍为 $(x_2 - x_1, y_2 - y_1)$,没有发生变化。平移攻击只会改变顶点坐标值,而不会改变线段的相对坐标向量,因此嵌入的水印信号也不会受到影响。

2.3.2 旋转

图形经过 θ 角旋转之后,线段相对坐标向量也可以看作是经过了 θ 角旋转。旋转角度只会影响到分数傅里叶系数的相角,而对模值没有影响,因此算法可完全抵抗旋转攻击。

2.3.3 缩放

这里的缩放操作是指的对图形的整体均匀缩放,沿 x 轴方向和 y 轴方向的缩放因子相同。假设图形缩放前线段的相对坐标向量为 L ,经过因子为 s 的缩放后变为 sL ,产生的复数序列 C 也相应的变为 sC 。由于分数傅里叶变换是线性变换,因此变换频谱 $Faf' = F\{sC\} = sF\{C\}$,变换系数的模值相应的缩放 s 倍变为 sZ_k ,这样由式(7)计算特征序列 $\{M'_k\}$ 时,分子和分母均增大(或缩小)相同倍数,得到的特征序列不受影响。因此缩放操作也不会影响水印的提取。

(下转第1676页)

5 结语

为了实现对视频场景中静态目标和动态目标的并行实时的稳定跟踪,在对基于 isMHI 以及基于 CamShift 的图像目标跟踪方法分别进行研究的基础上,针对二者各自存在的缺点,提出了一种将两种方法相结合的视频多目标跟踪算法,利用两种方法各自的优点相互补充,针对进入视频场景中的目标的不同状态(运动或静止)分别采取不同跟踪策略,并解决了跟踪策略的应用转换问题,从而实现对进入视频场景的多个时动时静目标的持续跟踪。实验结果表明,该算法在保持较小错误率的基础上鲁棒性好,当视频分辨率不大于 640×480 时,基本可以达到实时性,能够满足工程应用的要求,可用于安全监控或交通应用中感兴趣目标的跟踪等。接下来的研究重点在于对运动到视频场景之外,以后再回来的同一目标的实时辨识跟踪。

参考文献:

- [1] DAVIS J, BOBICK A. The representation and recognition of human movement using temporal templates [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(3): 257-267.
- [2] GARY R B, JAMES W D. Motion segmentation and pose recognition with motion history gradients [J]. Machine Vision and Applica-

tions, 2002, 13(7): 174-184.

- [3] 孟繁锋, 曾庆双, 姜永林, 等. 基于改进的 tMHI 的实时视频运动目标检测及跟踪 [J]. 计算机应用, 2007, 27(10): 2518-2521.
- [4] DORIN C, PETER M. Robust analysis of feature spaces: color image segmentation [C]// Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision. Hongkong: IEEE Press, 1997: 750-755.
- [5] BRADSKI G R. Computer vision face tracking for use in a perceptual user interface [C]// Proceedings of IEEE Workshop Applications of Computer Vision. Princeton, NJ: IEEE Press, 1998: 214-219.
- [6] 王亮亮, 孙即祥, 谭志国. 基于人脸检测和 CamShift 算法的人脸跟踪系统 [J]. 微计算机应用, 2008, 29(2): 14-17.
- [7] LIU X, CHU HX, LI PJ. Research of the improved CamShift tracking algorithm [C]// Proceedings of the 2007 IEEE ICMA. Harbin: IEEE Press, 2007: 968-972.
- [8] YANG B, ZHOU HJ, WANG X. Target tracking using predicted CamShift [C]// WCICA 2008: 7th World Congress on Intelligent Control and Automation. Chongqing: IEEE Press, 2008: 8501-8505.
- [9] 刘雪, 常发亮, 王华杰. 基于改进 CamShift 算法的视频对象跟踪方法 [J]. 微计算机信息, 2007, 23(7): 297-298.
- [10] CHU HX, YE SJ, GUO QC. Object tracking algorithm based on CamShift algorithm combining with difference in frame [C]// Proceedings of the IEEE ICAL. Jinan: IEEE Press, 2007: 51-55.

(上接第 1650 页)

对嵌入水印的工程图进行平移、旋转、缩放 3 种攻击,以及它们的混合攻击。实验结果如表 2。图 7 为受到 3 种攻击时提取的水印。由于选取了一幅二值图像作为水印信号,水印是否存在,可直接由视觉上观察提取的水印来判断,相关系数 Cor 可

作为判断算法抗攻击能力的依据。由实验发现相关系数 Cor 的取值范围在 $[-1, 1]$, Cor 越大,提取的水印 W'' 和原始水印 W 的相似度越高,算法抗攻击能力越强。实验结果说明该算法对这些攻击是完全健壮的。

表 2 算法对平移、旋转、缩放攻击及混合攻击的实验结果

平移向量	相关系数	旋转角度/(°)	相关系数	缩放因子	相关系数	混合攻击	相关系数
(10, 20)	1	30	1	1/4	1	平移(10, 20), 旋转 45°	1
(-10, 20)	1	45	1	1/2	1	平移(100, -50), 放大 2	1
(100, -50)	1	-60	1	2	1	旋转 -60°, 缩小 1/2	1
(-60, -20)	1	120	1	3	1	平移(-10, 20), 旋转 30°, 放大 3	1

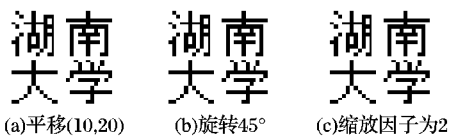


图 7 受到 3 种攻击时提取的水印

3 结语

本文结合工程图的矢量特性和分数傅里叶变换的性质,提出了一种基于二维工程图的盲水印算法。由于水印的嵌入是根据水印的大小和分数傅里叶变换系数之间的关系来实现的,因此在提取水印时不需要原工程图。通过大量实验表明,该算法能在保证水印透明性的基础上,有效地抵抗平移、旋转、缩放等几何攻击,以及这些攻击的组合,并具有良好的安全性。能够很好的起到版权保护的作用,为在工程图中嵌入水印提出了一种新思路。

参考文献:

- [1] KWON K R, JANG B J, LEE E J, et al. Copyright protection of architectural CAD drawing using the multiple watermarking scheme [C]// IEEE International Conference on Multimedia and Expo. Washington, DC: IEEE Press, 2004, 2: 871-874.
- [2] 汪亚顺, 徐铭政. 基于二维工程图的数字水印比例算法 [J]. 南昌

大学学报: 工科版, 2003, 25(4): 29-31.

- [3] 黄晓生, 顾景文. 一种非盲检测的二维工程图数字水印算法 [J]. 工程图学学报, 2006, 27(4): 158-161.
- [4] 黄晓生, 顾景文. 基于混沌的小波域二维工程图数字水印算法 [J]. 苏州科技学院学报: 工程技术版, 2006, 19(3): 77-80.
- [5] PEI S C, YEH M H. Improved discrete fractional Fourier transform [J]. Optics Letter, 1997, 22(14): 1047-1049.
- [6] CANDAN C, KUTAY M A, OZAKTAS H M. The discrete fractional Fourier transform [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2000, 48(5): 1329-1337.
- [7] BULTHEEL A. Digital watermarking of images in the fractional Fourier domain [EB/OL]. [2008-10-10]. <https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/156313/1/TW497.pdf>.
- [8] SOLACHIDIS V, NIKOLAIDIS N, PITAS I. Fourier descriptors watermarking of vector graphics images [C]// International Conference on Image Processing. Vancouver, BC, Canada: IEEE Press, 2000, 3: 9-12.
- [9] SOLACHIDIS V, NIKOLAIDIS N, PITAS I. Watermarking polygonal lines using Fourier descriptors [C]// ICASSP '00: IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Istanbul, Turkey: IEEE Press, 2000: 1955-1958.
- [10] HONG K. A blind watermarking technique using wavelet transform [C]// International Symposium on Industrial Electronics: ISIE 2001. Pusan, South Korea: IEEE Press, 2001: 1946-1950.