

# 基于差值扩大的 2 维工程图可逆水印算法

李黎 李强 方晓君 钱彬

(杭州电子科技大学图形图像研究所, 杭州 310018)

**摘要** 针对 2 维工程图版权保护问题, 提出了一种基于差值扩大法的 2 维工程图的水印嵌入算法。该算法对差值扩大法进行改进解决了工程图线段顶点坐标值相关性差的问题, 通过修改线段端点的坐标值来嵌入水印信息。由于修改量非常小, 不会产生视觉冗余。提取时可以精确地恢复原始工程图, 满足了工程图加工精度高的要求, 并且实现了盲提取。实验结果表明该算法达到了较好的效果, 并且易于实现, 适用于工程图的版权保护领域。

**关键词** 2 维工程图 差值扩大法 可逆水印

中图法分类号: TP301.6 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2010)03-372-06

## Reversible Watermarking Algorithm Based on Difference Expansion for 2D Engineering Drawings

LILi LIQiang FANG Xiaojun QIAN Bin

(Institute of Computer Graphics and Image Processing, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018)

**Abstract** In order to take effective copyright protection for 2D engineering drawings, the paper presents a reversible watermark embedding algorithm based on difference expansion for 2D engineering drawings. The algorithm works on the feature of poor relevant of vertex coordinates of lines in engineering drawing embedding watermark information by modifying the vertex coordinates of lines. Because of minute revision, there isn't any visual redundancy. During information extracting, the algorithm can restore the original engineering drawing accurately, and meets the requirements of high-precision machining and also realizes the blind extraction. The experimental results show that the algorithm achieves good results and easy to implement, it can be applied to the copyright protection of engineering drawings, content certification, information secret transmission and other fields.

**Keywords** 2D engineering drawings, difference expansion, reversible watermark

## 0 引言

随着数字技术、网络多媒体和通信技术的迅速发展和应用, 信息安全越来越得到人们的重视。信息隐藏技术广泛应用于知识产权保护<sup>[1]</sup>、多媒体信息的认证及隐秘传输<sup>[2-5]</sup>等信息安全领域。目前, 多数的版权保护集中在视频、音频、文本以及图像等

方面。在图像的水印信息技术方面, 主要集中在二值图像、彩色图像等, 对于矢量图的数字水印研究, 特别是工程图版权保护的研究相对薄弱, 一方面是由于人们的重视程度还不够; 另一方面, 从空间信息模型两分法的理论出发, 工程图属于矢量图形数据, 它具有数据量小、精度要求较高的特点<sup>[6]</sup>, 这对于数字水印和信息隐藏来说是比较困难的。近年来, 逐渐推出了一些有关工程图水印算法研究的文章。闫伟

基金项目: 国家自然科学基金项目 (60703087); 浙江省科技厅面上重点基金项目 (2008C23004); 浙江省科技厅重大专项基金 (2008C13080)

收稿日期: 2008-12-08 改回日期: 2009-01-15

第一作者简介: 李黎 (1973—), 女, 博士, 硕士生导师。2004 年于浙江大学获计算机专业博士学位。主要研究领域为信息隐藏与数字水印。E-mail: lil2008@hdu.edu.cn

齐等人提出了一种基于曲面映射的工程图水印算法<sup>[7]</sup>, 提出将工程图映射到一个具有非常大的有限半径的球面上, 将 2 维工程图中的 2 维点转化成 3 维点, 半径的长度则作为水印。孙伟等人在文献 [7] 的基础上提出了一种基于复数系的数字水印新方法<sup>[8]</sup>, 该方法是在数字化过程中用复数基表示 Gauss 整数, 由此建立了媒体间的数字变换关系, 从而添加水印。文献 [7]~[8] 的基本思想都是建立一种数字变换关系, 同时需要对这种变换关系进行记录, 但工程图所包含的图形和数据都是很精确的, 不可以随意改动, 因此如何将变换关系很好地隐藏于工程图中并不破坏工程图的数据, 还需要进一步研究。彭飞等人提出了一种基于特征的 2 维工程图信息隐藏算法, 该算法先对工程图中的有序线段集进行乱序处理, 然后将待嵌入的信息转化为伪随机序列, 结合人体视觉系统 (HVS) 特征对乱序线段集中线段的线型按序进行修改, 从而实现水印信息的隐藏<sup>[9]</sup>。该算法利用线段的属性冗余信息隐藏水印, 计算复杂度较小, 但随着水印容量的加大会降低工程图透明性。

在可逆水印算法的研究上, 文献 [10] 是较早提出可逆水印的论文, 差值扩大法<sup>[11]</sup>是 Tian 在 2003 年提出的一种容量较高、视觉效果较好的可逆水印算法, 算法利用邻近两个像素之间灰度的相关性嵌入水印, 本质上是利用了原始数据的较强相关性来为嵌入数据提供存储空间, 其水印容量为 0.5bpp (比特/像素); 文献 [12~16] 在 Tian 的基础上, 在水印嵌入容量和视觉效果上进行了许多开创性的研究, 但仅限于传统的数字图像, 并未对矢量图或工程图进行探讨。

能够精确恢复原始数据是可逆水印最重要的特点, 符合工程图加工精度高的要求, 虽然工程图中的线段是良好的嵌入载体, 然而其坐标数据很不规则、数值相关性比较差, 因此很难简单地将基于差值扩大法的图像可逆水印直接应用于工程图。本文提出适用于一般 2 维工程图的盲水印算法, 针对工程图线段数据的特点, 通过有效处理不规则的坐标数据使其具有很强的相关性从而可以适用差值扩大法, 同时利用 2 维工程图线段其他一些属性存储相关信息而不引入附加的存储, 引入容限  $\tau$  从而有效控制误差, 视觉效果较好, 算法可以实现盲提取。

## 1 差值扩大算法<sup>[13]</sup>

差值扩大技术用于在数字图像中实现无损数据

水印, 其基本思想可以归结为针对具有较强相关性的原始载体数据中的相邻数据点  $x_1$  和  $x_2$  (原始数据均为整数), 首先用一组可逆变换来分别计算二者的差值  $d$  和整数均值  $m$ , 如下式:

$$\begin{cases} d = x_1 - x_2 \\ m = \lfloor \frac{x_1 + x_2}{2} \rfloor \end{cases} \quad (1)$$

这组变换是可逆的, 其逆变换为

$$\begin{cases} x_1 = m + \lfloor \frac{d+1}{2} \rfloor \\ x_2 = m - \lfloor \frac{d}{2} \rfloor \end{cases} \quad (2)$$

载体数据的相关性意味着大多数情况下  $x_1$  和  $x_2$  的取值比较接近, 因此其差值  $d$  通常比较小。在一定的误差范围内, 通过将  $d$  值扩大为原来的  $2i$  倍 (即左移  $i$  位), 即可为待嵌入的数据提供  $i$  比特的冗余空间。将带有水印数据的差值记为  $D$ , 结合原先的整数均值  $m$ , 含水印数据可以通过逆变换 (式 (2)) 得到。

## 2 2 维工程图的可逆水印算法

### 2.1 提高线段顶点坐标数据相关性

使用差值扩大法对 2 维工程图进行水印嵌入, 首先要进行顶点的选取和预处理, 使之具有较强相关性, 满足算法要求。

对线段顶点对坐标值进行处理。取坐标值小数点的最后两位。在 AutoCAD 2008 中, 其坐标值默认的精度为  $10^{-3}$  (单位: mm)。由于该算法适用于整数, 因此实验前需先将所有数据乘以  $10^3$  转换成整数坐标再取其最后两位。

为了使差值  $d$  扩大两倍后不产生溢出, 要求两点坐标值之差小于 50 同时要提高相关性。对式 (1)、式 (2) 中  $x_1, x_2$  进行修改, 得新的坐标  $x'_1, x'_2$ , 如下式:

$$\begin{cases} x'_1 = x_1 - \lfloor \frac{x_1 - x_2 - 1}{2} \rfloor \\ x'_2 = x_2 + \lfloor \frac{x_1 - x_2 - 1}{2} \rfloor \end{cases} \quad (3)$$

由式 (3) 得:

$$\begin{cases} x_1 = x'_1 + \lfloor \frac{x_1 - x_2 - 1}{2} \rfloor \\ x_2 = x'_2 - \lfloor \frac{x_1 - x_2 - 1}{2} \rfloor \end{cases} \quad (4)$$

使用式 (4) 恢复原始坐标, 为此在修改线段坐

标时还必须保存差值  $d = x_1 - x_2$ 。对于 2 维工程图, 可以通过修改厚度信息保存差值而不影响其视觉特性。在 AutoCAD2008 中, 线段的厚度属性默认为 0.000, 因此可以将差值保存于小数点后的第 2、第 3 位。

用式 (3) 中  $x'_1, x'_2$  代替式 (1) 式 (2) 中  $x_1, x_2$  得:

$$\begin{cases} d' = x'_1 - x'_2 \\ m = \lfloor \frac{x'_1 + x'_2}{2} \rfloor \end{cases} \quad (5)$$

其逆变换为

$$\begin{cases} x'_1 = m + \lfloor \frac{d'+1}{2} \rfloor \\ x'_2 = m - \lfloor \frac{d'}{2} \rfloor \end{cases} \quad (6)$$

由式 (3) 知坐标均值  $m = x'_1 + x'_2 = x_1 + x_2$ , 即  $m$  在修改坐标前后保持不变。对于修改前后的差值, 有  $d' \leq d$ 。水印嵌入的任务就是通过修改差值  $d'$  来嵌入水印数据  $w_i$ 。修改方法如下:

$$d''_i = 2 \times d'_i + w_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

式中,  $d''_i$  为嵌入水印后的差值序列。

由式 (3), 得式:

$$d' = x'_1 - x'_2 = (x_1 - x_2) - 2 \times \lfloor \frac{x_1 - x_2 - 1}{2} \rfloor \quad (8)$$

式 (8) 分情况讨论如下:

$$\begin{cases} d' = 1 & \text{当 } x_1 - x_2 \text{ 为奇数} \\ & x_1 - x_2 - 1 \text{ 为偶数} \\ d' = 2 & \text{当 } x_1 - x_2 \text{ 为偶数} \\ & x_1 - x_2 - 1 \text{ 为奇数} \end{cases}$$

修改后的坐标值使得任意顶点对的坐标差值很小, 因而具有很好的相关性, 从而使得差值扩大算法可行。

## 2.2 线段和顶点的选取

工程图中存在的大量线段信息为嵌入水印提供了很好的载体, 但是存在两类线段不适合嵌入。具体选择如下:

1) 在水印信息嵌入过程中, 对于长度比较小的线段, 微小的修改可能会引起较大的误差, 造成线段“突出”或“断开”而产生视觉冗余。为此, 算法引入容限  $\tau$  设原线段长度为  $L$ , 若  $\frac{x_1 - x'_1}{10^3 L} \geq \tau$  则认为这些线段不适合嵌入水印信息。

2) 由式 (6) 可知, 当  $m \leq 2$  或  $m \geq 97$  (理论上出现概率小于 0.5%), 这类点对采用式 (3) ~ 式 (6) 处理是无效的, 因为嵌入水印会使坐标值产生上溢或下溢。例如, 若线段端点横坐标分别为 15.298 和 32.597, 取最后两位, 得  $x_1 = 98, x_2 = 97$ , 由式 (3) 得:  $x'_1 = 98, x'_2 = 97$ , 由式 (5) 得:  $d' = 1 = (00000001)_2$ , 由式 (7) 在  $d'$  嵌入水印信息 1 得  $d'' = 3 = (00000011)_2$  恢复坐标得嵌入水印后的坐标。  $x'_1 = m + \lfloor \frac{d''+1}{2} \rfloor = 98 + 2 = 100$ 。

取后两位得 00 产生上溢。同理, 对于接近 00 的坐标值, 会产生下溢。

对于上述两种不适合嵌入水印的线段需要进行标记。Maxenchuk 等人曾在文献 [17] 中提出, 在人的视觉条件下, 如果字符间距的改变量不大于  $1/150$  in (约 0.5 磅  $\approx 0.176$  mm), 肉眼是无法识别的。根据这一原理, 线段适当程度的加粗对于视觉是不存在影响的, 因此标记的方法就是对这类线段的线宽进行加倍处理。这样在提取水印信息时就可以很清楚地知道哪些线段是处理过的, 而哪些是没有处理过的。

完成线段的选取后, 对可用线段的顶点坐标进行选取。2 维工程图线段顶点坐标有横坐标和纵坐标, 同时线段可以分为 3 类: 与 X 轴平行、与 Y 轴平行、不与任何坐标轴平行。对于这 3 类线段, 其坐标数据有各自的特点: 与 X 轴平行线段, 其纵坐标保持不变, 因此选取线段顶点的横标; 与 Y 轴平行线段, 其纵坐标保持不变, 选取线段顶点的纵坐标。不与任何坐标轴平行的线段可以选取横坐标或纵坐标。为了能够更有效地嵌入水印, 依据容限  $\tau$  选择差值  $d$  较大的坐标。这样选择的目的是为了处理相关性差的数据从而证明该算法的优越性。

当选用纵坐标时, 只需将式 (1) ~ 式 (6) 中的  $x$  更改  $y$  即可。

## 2.3 水印信息的嵌入

在嵌入的区域上, 为了充分利用 2 维工程图的线段, 选取工程图的主体以及标记部分作为载体数据。水印嵌入的具体步骤如下:

1) 提取工程图所有线段坐标信息 根据 2.1 节的原则选取可用线段和顶点对, 对不可用的选段进行标记。

2) 生成水印序列 使用伪随机序列作为水印信息, 根据可用顶点对个数来决定水印序列的长度。若可用线段个数为  $n$ , 则水印序列  $W = \{w_1, w_2, \dots,$

$w_0, \dots, w_n$ }, 使用 DES 对  $W$  进行加密。

3) 修改差值 对于可用的线段, 提取顶点坐标最末两位, 保存原始差值  $d_i$ 。根据式 (3) 修改坐标使之具有相关性, 对新坐标取差值  $d_i'$ , 根据式 (7) 嵌入水印, 得差值序列  $d_i''$ 。

4) 恢复工程图。根据序列  $d_i''$  和均值  $m$  由式 (5) 式 (6) 获得嵌入水印的工程图线段端点坐标。

#### 2.4 水印信息的提取和原始工程图的恢复

1) 使用嵌入时的方法获取工程图所有线段坐标信息。对于已标记的线段, 取消标记; 对未标记的线段, 提取差值序列  $d_i''$ 。

2) 获取  $d_i''$  最后一位即加密后的水印, 再由 DES 可恢复水印信息  $w_i$ 。由下式 (10) 得到:

$$d_i' = \left\lfloor \frac{d_i''}{2} \right\rfloor \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

3) 提取线段的厚度属性, 即原始坐标差值  $d_i$ , 根据式 (4) 恢复原始工程图线段坐标。

### 3 实验结果与分析

该算法在抗旋转、均匀缩放攻击上具有很好的鲁棒性, 其原因在于旋转、缩放不会改变工程图任何元素的坐标值, 对水印信息的载体没有本质的影响, 表 1 给出了旋转攻击后的提取结果。由于水印信息嵌入在直线端点坐标上, 因此仅当添加、删除直线时会对水印信息产生影响, 水印提取的成功率会随着删除直线的增多而降低, 但添加、删除操作会对原始工程图精度产生很大影响, 因此在精度要求高的前提下算法具有很好的鲁棒性。

表 1 旋转攻击

Tab. 1 Rotating attack

	旋转角度							
	120°	90°	60°	30°	-30°	-60°	-90°	-120°
测试次数	10	10	10	10	10	10	10	10
成功提取次数	10	10	10	10	10	10	10	10

在 2.2 节中引入容限  $\tau$  依据人体视觉系统特征, 经过实验可得  $\tau = 0.01\%$ 。实验结果如图 1~图 6 所示。选取工程图的主体和标注作为嵌入区域, 如图 1、图 3、图 5 所示, 共有 229 条线段, 其中存在 11 条线段修改后产生误差超过容限  $\tau$  4 条线段坐标值产生溢出, 因此共有 214 条可用线段, 共嵌入数据 214 bits。

图 2、图 4、图 6 为包含水印信息工程图, 算法没有对工程图引入明显的扰动, 在线段连接处没有出现“突出”或“断开”的现象, 同时采用均方根误差 (RMSE) 作为水印嵌入对原始工程图产生影响的客观评价标准,

$$RMSE = \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [F(i) - S(i)]^2 \right|^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

式中,  $F(i)$  为原始线段坐标,  $S(i)$  为嵌入数据以后线段的坐标。RMSE 的值越小, 两幅图像越相似。通过计算得 RMSE 为 0.005 02。提取水印时, 可以将水印正确检测出来, 并能够完全恢复原始工程图数据, 因此不影响工程图的使用价值。

2.1 节讨论了点和线段的选取规则, 在水印嵌入过程中, 通过引入容限  $\tau$  去除产生误差较大的点, 分析  $m$  值去除产生溢出的线段。算法在不同的载体工程图中具有不同的信息载荷, 在理想情况下, 即工程图中每条线段端点坐标都满足嵌入水印的条件, 那么算法的信息载荷为 1 bit/line, 而实验中所选取工程图的信息载荷为 0.934 4 bit/line, 原因在于其中存在不适合嵌入水印的线段。由此可见, 算法的性能与原始工程图的特征有关, 并且主要取决于工程图可用直线数。例如, 图 1、图 2 中直线比较多, 分别为 98 条、92 条, 可用的顶点坐标数目较多, 水印容量较大; 图 3 为工程图的标注, 可用直线仅为 24 条, 冗余空间相对较少, 因而水印容量也较小。

2 维工程图水印的攻击不同于文本、栅格图像、音频以及视频的攻击, 例如工程图不存在有损、无损压缩; 其攻击类型主要包括添加、删除、旋转、缩放。

### 4 结 论

本文提出了一种应用于 2 维工程图的可逆水印算法。由于 2 维工程图的应用环境比较严格, 不允许随意改动数据, 因此水印信息的可逆性对于 2 维工程图水印具有十分重要的意义。基于差值扩大的思想, 通过处理工程图线段顶点坐标使其具有较强相关性, 进而将水印信息嵌入到工程图线段数据的横坐标或纵坐标中。算法引入的扰动非常小, 嵌入水印后工程图的视觉效果非常好, 而且能够完全恢复原始工程图数和水印信息。算法的有效信息载荷主要取决于原始工程图中可用直线的数量, 可用直线的数量越多, 算法的嵌入容量越高。可逆水印的优点在于能完整地恢复原始数据以及水印信息, 但

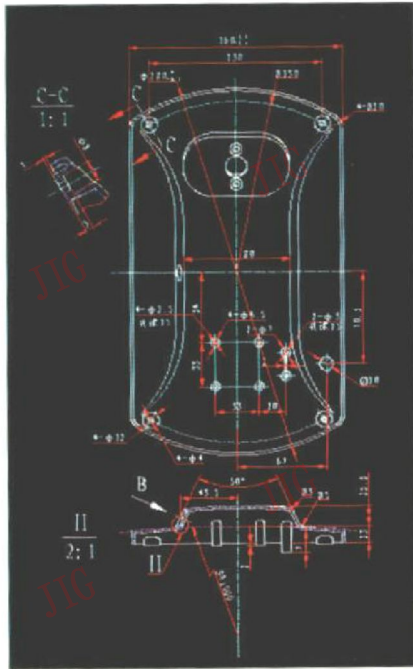


图 1 原始工程图 I

Fig. 1 Original engineering graphics I

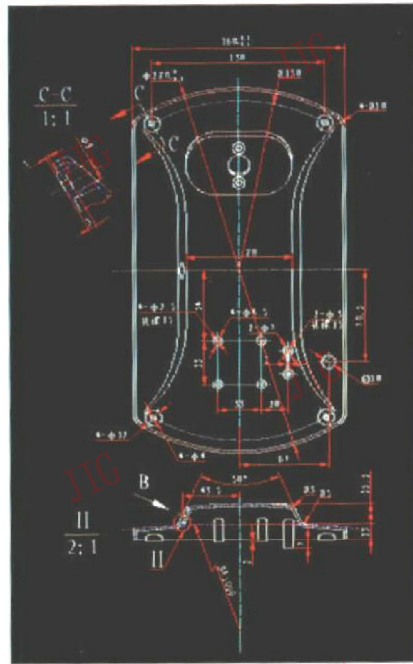


图 2 含水印的工程图 I

Fig. 2 Watermarked engineering graphics I

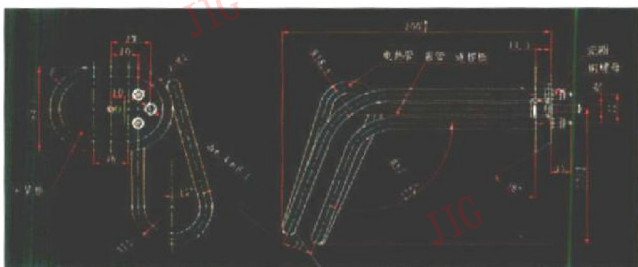


图 3 原始工程图 II

Fig. 3 Original engineering graphics II

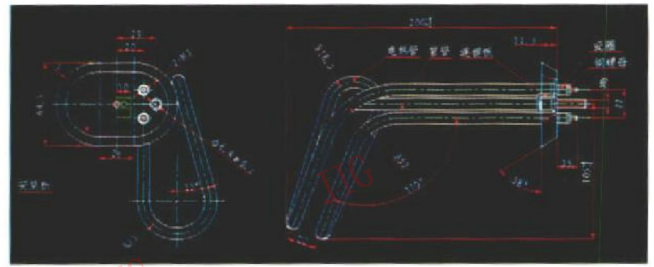


图 4 含水印的工程图 II

Fig. 4 Watermarked engineering graphics II

设计者 DESIGNER	名称 TITLE	单位 UNIT	比例 SCALE	重量 WEIGHT	版本号 VER. NO.
审核者 CHECKER	材料 MATERIAL	共页 TOTAL SHEETS		第页 NO. OF SHEETS	
批准者 APPROVED					
日期 DATE					

图 5 原始标注

Fig. 5 Original label

设计者 DESIGNER	名称 TITLE	单位 UNIT	比例 SCALE	重量 WEIGHT	版本号 VER. NO.
审核者 CHECKER	材料 MATERIAL	共页 TOTAL SHEETS		第页 NO. OF SHEETS	
批准者 APPROVED					
日期 DATE					

图 6 含水印的标注

Fig. 6 Watermarked label

是抗攻击性较差, 因此, 进一步的工作是使算法具有更好的抗攻击性、适应性以及如何将多层嵌入的思想引入到工程图中以提高有效信息载荷。

### 参考文献 (References)

- [1] Kwon K R, Jang B J, Lee E J et al. Copyright protection of architectural CAD drawing using the multiple watermarking scheme [C] // Proceedings of IEEE International Conference on multimedia and expo (ICME). Washington DC: IEEE Press, 2004: 871-874.
- [2] Rankumar M, Akansu A N. Signaling methods for multimedia steganography [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2004, 52 (4): 1100-1111.
- [3] De Vleeschouwer C, Delaigle J F, Maq B. Circular interpretation of bijective transformations in lossless watermarking for media asset management [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2003, 5(1): 97-105.
- [4] Takahashi A, Nishimura R, Suzuki Y. Multiple watermarks for stereo audio signals using phase modulation techniques [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2005, 53 (2): 806-815.
- [5] Tian Yuan, Cheng Yin, Wang Yixiao. A novel method of data hiding [J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32 (9): 1444-1447. [田源, 程义民, 王以孝. 一种新的数据隐藏方法 [J]. 电子学

- 报, 2004 32(9): 1444-1447.]
- [6] Cheng Yimin, Xie Yuming, Wang Yixiao, et al. A method for secret transmission of color video [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2005, 10(1): 93-97. [程义民, 谢于明, 王以孝, 等. 一种彩色视频信息的隐秘传输方法 [J]. *中国图象图形学报*, 2005, 10(1): 93-97.]
- [7] Yan Weiqi, Qi Dongxu. Mapping based watermark of 2D engineering graph [C] // *Proceedings of CAD/ Graphics*. Beijing International Academic Publishers, 2001: 464-469.
- [8] Sun Wei, Qi Dongxu. Complex number system based algorithm for engineering graph digital watermarking [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2003, 8(spe): 626-630. [孙伟, 齐东旭. 基于复数系的工程图数字水印算法 [J]. *中国图象图形学报*, 2003, 8(特刊): 626-630.]
- [9] Peng Fei, Sun Xingming. Information hiding algorithm for two-dimensional engineering graphics based on characteristics [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2007, 43(15): 53-56. [彭飞, 孙星明. 一种基于特征的二维工程图信息隐藏算法 [J]. *计算机工程与应用*, 2007, 43(15): 53-55.]
- [10] Barton J.M. Method and Apparatus for Embedding Authentication Information within Digital Data. U.S. Patent 5646997[P], 1997-07-08.
- [11] Tian J. Reversible watermarking by difference expansion [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2003, 13(8): 890-896.
- [12] A latta A.M. Reversible watermark using the difference expansion of a generalized integer transform [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2004, 13(8): 1147-1156.
- [13] Kamstra L, Heijmans H J.A.M. Reversible data embedding into images using wavelet techniques and sorting [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2005, 14(12): 2082-2090.
- [14] Chang C.C., Lu T.C. A difference expansion oriented data hiding scheme for restoring the original host images [J]. *Journal of Systems and Software*, 2006, 79(12): 1754-1766.
- [15] Thodi D.M., Rodriguez J.J. Expansion embedding techniques for reversible watermarking [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2007, 16(3): 721-730.
- [16] Kim H.J., Sachnev V., Shi Y.Q., et al. A novel difference expansion transform for reversible data Embedding [J]. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 2008, 3(3): 456-465.
- [17] Brassil J.T., Low S., Maxen chuk N.F. Copyright protection for the electronic distribution of text document [J]. *Proceedings of the IEEE*, 1999, 87(7): 1181-1196.