

一种利用 HVS 与标注特征的 2 维 工程图信息隐藏算法

彭 飞 孙星明

(湖南大学计算机与通信学院,长沙 410082)

摘 要 针对 2 维工程图的版权保护问题,基于 HVS 与标注特征,提出了一种 2 维工程图的信息隐藏算法。该算法先获得工程图中的标注实体集,然后根据 Logistic 混沌系统所产生的二值化混沌序列对待隐藏信息进行加密,结合 HVS 和加密后信息对标注实体的颜色与线宽特征进行微小修改,从而实现信息的隐藏。仿真结果表明,该信息隐藏算法对旋转、平移、均匀缩放、非均匀缩放、噪声等攻击具有较好的鲁棒性。

关键词 信息隐藏 2 维工程图 HVS 标注特征

中图法分类号: TP391.72 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)06-1102-06

An Information Hiding Algorithm for Two-dimensional Engineering Graphics Using HVS and Dimension Characters

PENG Fei, SUN Xing-ming

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

Abstract Focusing on the problem of copy right protection for two-dimensional engineering graphic, an information hiding algorithm based on HVS and dimension characters is proposed. The sequenced dimension entity set is firstly acquired from the engineering graphic. Then the message is encrypted by a two-value chaotic sequence generated by Logistic map. The color and line weight character of a certain dimension entity is selected. And a slight modification is made to them based on HVS and the encrypted message. Simulation results show that the proposed algorithm is robust against the attacks such as rotation, moving, equal scaling, unequal scaling and noise.

Keywords information hiding, two-dimension engineering graphic, HVS, dimension character

1 引 言

目前,信息隐藏的研究主要集中在图像、视频、音频以及文本等载体,而对 2 维工程图的信息隐藏的研究相对较少。工程图广泛应用于机电行业、建筑行业以及服装等行业,它是设计师们的工作成果,也是企业的重要资产,其版权与图像、视频、音频以及文本一样需要得到有效的保护。目前,已经出现一些针对 2 维工程图信息隐藏的研究。文献[1]提

出了一种通过修改 2 维工程图中各实体顶点间的距离比例来嵌入信息的信息隐藏方法;文献[2]提出了一种在文献[1]基础上改进了的信息隐藏方法。虽然这些方法能够有效地抵抗旋转、平移、均匀缩放以及删除等攻击,但是由于修改了顶点间的距离,则改变了 2 维工程图的尺寸,会在实际应用中影响产品的加工与制造。文献[3]提出一种结合 HVS 修改实体线宽的工程图信息隐藏算法。本文基于 HVS 与标注特征,提出了一种新的 2 维工程图的信息隐藏算法。算法首先获得工程图中的标注实体集,然

基金项目:国家自然科学基金项目(60573045)

收稿日期:2007-08-25;改回日期:2008-03-04

第一作者简介:彭 飞(1977 ~),男,副教授,2006 年于华南理工大学获电路与系统专业博士学位。研究方向为数字水印,混沌密码。

E-mail: eepengf@yahoo.com.cn.

后根据所产生的二值化混沌序列对待隐藏信息进行加密,结合 HVS 和加密后的信息依次对标注实体的颜色以及线宽属性进行微小修改,从而实现信息的隐藏。试验结果表明,该信息隐藏算法对旋转、平移、均匀缩放、非均匀缩放、噪声等攻击具有良好的鲁棒性。

2 2 维工程图与信息隐藏

AutoCAD 是美国 Autodesk 公司的产品,已经广泛应用于机电、建筑以及服装等行业的工程图纸设计中,是一种典型的工程图设计软件。这里将以 AutoCAD2006 为应用背景,讨论 2 维工程图的信息隐藏。

2.1 2 维工程图标注特征

标注是向图形中添加测量注释的过程。用户可以为各种对象沿各个方向创建标注。基本的标注类型包括:(1)线性;(2)径向(半径和直径);(3)角度;(4)坐标;(5)弧长。线性标注可以是水平、垂直、对齐、旋转、基线或连续(链式)。图 1 中列出了几种标注示例。

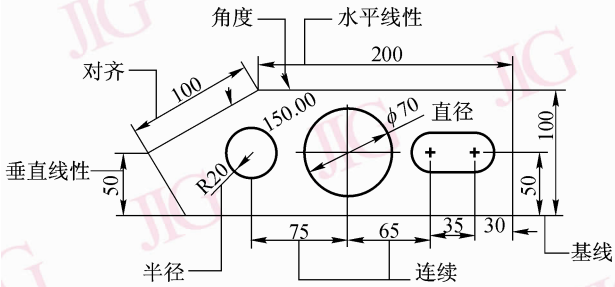


图 1 标注示例
Fig. 1 Dimension example

图 2 所示为标注的属性。标注的特征由基本、其他、直线和箭头、文字、调整、主单位、换算单位、公差等 8 个部分组成,具体属性多达 86 个。

2.2 基于 2 维工程图标注特征的信息隐藏

由于在 2 维工程图中,标注特征的属性众多,很多属性并没有设计者和使用者关注,因此含有相当的冗余可以进行信息隐藏。在此,选择标注特征中的基本特征部分,从颜色和线宽两个属性着手来进行信息的隐藏。

Maxenchuk 等人曾提出,在人的视觉条件下,如果字符间距的改变量不大于 1/150 英寸(约 0.5 磅 $\approx 0.176\text{ mm}$),肉眼是看不出来的^[4]。类似地,在工



图 2 标注属性
Fig. 2 Dimension property

程图中,如果图中两条线段的线宽差别小于 0.176 mm,从人体视觉系统特性来看,也是无法辨识出来的。

在 AutoCAD2006 中,线宽范围从 0 ~ 2.11 mm,一共分为 24 级,相邻级线宽最小为 0.02 mm,最大为 0.42 mm,大部分的线宽级差在 0.02 ~ 0.15 mm 之间。所以可以通过以下方法来隐藏信息:当需要隐藏的信息为“0”时,保持该线段的线宽不变;当需要隐藏的信息为“1”时,将线段的线宽增大一级。同时根据 Weber 定律^[5],不同照度背景下,人眼所能分辨出的照度差是有区别的。均匀背景 I 具有的可见性检测门限为:

$$\Delta I = 0.02 \times I \tag{1}$$

式中,照度差 ΔI 是 I 的函数。这说明在均匀背景下,一个像素值的变化只有当它达到一定的程度(检测门限)才能为人体视觉系统 HVS 所见。

对于实体颜色的像素值 $I = \text{RGB}(V_R, V_G, V_B)$,由 Weber 定律,其可见性检测门限为

$$\Delta I = 0.02 \times I = \text{RGB}(0.02V_R, 0.02V_G, 0.02V_B) \tag{2}$$

这表明,实体颜色在 $\text{RGB}(0.98V_R \sim 1.02V_R, 0.98V_G \sim 1.02V_G, 0.98V_B \sim 1.02V_B)$ 内,人眼是无法将其与颜色 $\text{RGB}(V_R, V_G, V_B)$ 分辨开来。

特别地,以 AutoCAD 系统缺省的实体颜色白色为例,其像素值为 $I = \text{RGB}(255, 255, 255)$,根据式(1)可得:

$$\Delta I = 0.02 \times I = \text{RGB}(5.1, 5.1, 5.1) \tag{3}$$

即实体颜色在 RGB(249.9 ~ 255, 249.9 ~ 255, 249.9 ~ 255) 内,人眼是无法将其与颜色 RGB(255, 255, 255) 分辨开来。

因此,从人体视觉系统特性来看,通过对工程图中标注特征的颜色和线宽做微小改变来隐藏信息会具有较好的隐藏效果。与此同时,实体颜色的改变并不会改变工程图的标注尺寸,隐藏信息后的工程图与没有隐藏信息的工程图的实际使用效能是一样的。

3 算法描述

对于一幅 2 维工程图,组成工程图的所有标注实体可以看作作为一个集合,可表示为: $E = \{e_1, e_2, \dots, e_i, \dots, e_m\}$ 。未嵌入信息的 2 维工程图用 G 表示,嵌入信息后的 2 维工程图用 G' 表示。

3.1 信息隐藏算法

信息隐藏算法描述如下:

(1) 将要隐藏的信息转换为二进制形式 $M = \{m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_n\}$, 信息长度 n 作为算法密钥的一部分进行保存;

(2) 逐实体遍历 2 维工程图 G , 获得 G 的顺序标注实体索引集 $E = \{e_1, e_2, \dots, e_i, \dots, e_m\}$ 和对应标注实体的颜色集 $c = \{c_1, c_2, \dots, c_i, \dots, c_m\}$ 与对应标注实体的线宽集 $L = \{l_1, l_2, \dots, l_i, \dots, l_m\}$ 。为保证至少将信息重复嵌入两次,算法要求 $m \geq 2n$, 否则返回步骤 1 修改要嵌入的数据长度。

(3) 在密钥 K 的作用下,由 Logistic 混沌系统:

$$x_{n+1} = 4x_n(1 - x_n) \quad (4)$$

生成混沌序列,经过二值化处理后,得到二值化的混沌序列 $s = \{s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_{2n}\}$, 其中 $s_i \in \{0, 1\}$;

(4) 通过标注实体索引集 E 获得标注实体 e_1 , 计算 $p_1 = s_1 \oplus m_1$ 的值,若 $p_1 = 1$, 则将该标注实体颜色 c_1 的 RGB 值均加 1, 且将该标注实体线宽增大一级,若 $p_1 = 0$, 该标注实体不做任何改变;

(5) 从 1 到 n 重复执行步骤 4, 进行信息嵌入, 直到所有信息都嵌入到 2 维工程图中;

(6) 重复执行步骤 4, 5, 重复将信息 M 嵌入到 2 维工程图的所有实体中, 得到嵌入信息后的 2 维工程图 G' 。

3.2 隐秘信息检测算法

隐秘信息检测算法描述如下:

(1) 逐实体遍历 2 维工程图 G , 获得 2 维工程图

G 的顺序标注实体索引集 $E = \{e_1, e_2, \dots, e_i, \dots, e_m\}$ 、对应标注实体的颜色集 $c = \{c_1, c_2, \dots, c_i, \dots, c_m\}$ 以及对应的标注实体线宽集 $L = \{l_1, l_2, \dots, l_i, \dots, l_m\}$;

(2) 逐实体遍历 2 维工程图 G' , 获得 2 维工程图 G' 中顺序标注实体索引集 $E' = \{e'_1, e'_2, \dots, e'_i, \dots, e'_m\}$ 、对应的标注实体颜色集 $c' = \{c'_1, c'_2, \dots, c'_3, \dots, c'_m\}$ 以及对应标注实体线宽集 $L' = \{l'_1, l'_2, \dots, l'_i, \dots, l'_m\}$;

(3) 在密钥 K 的作用下,由 Logistic 混沌系统(式(4))生成混沌序列,经过二值化处理后,得到二值化的混沌序列 $s = \{s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_m\}$, 其中 $s_i \in \{0, 1\}$;

(4) 按照标注实体遍历顺序,进行如下操作:

① 如果 $Handle(e_1) = Handle(e'_1)$ (这里 $Handle(a)$ 是指实体 a 的句柄), 比较实体 e_1 的颜色 c_1 和实体 e'_1 颜色 c'_1 以及实体 e_1 的线宽 l_1 和实体 e'_1 的线宽 l'_1 :

(i) 当 $c_1 < c'_1$ 或 $l_1 < l'_1$ 时, $p'_1 = 1$;

(ii) 其他情况, $p'_1 = 0$ 。

② 如果在 2 维工程图 G' 不存在对应的 e'_1 , 使得 $Handle(e_1) = Handle(e'_1)$, 则: $p'_1 = "*" \text{ "}$;

③ 当 $p'_1 = "*" \text{ "}$ 时, $m'_1 = "*" \text{ "}$, 当 $p'_1 \neq "*" \text{ "}$ 时, $m'_1 = p'_1 \oplus s_i$ 。

(5) 从 1 到 m 重复执行步骤 4, 直到所有潜入到 2 维工程图标注实体的信息都被检测出来, 得到 $M' = \{m'_1, m'_2, \dots, m'_i, \dots, m'_m\}$ 。

(6) 将信息 M' 按信息长度 n 进行分组得到: $M^1 = \{m^1_1, m^1_2, \dots, m^1_i, \dots, m^1_n\}$, $M^2 = \{m^2_1, m^2_2, \dots, m^2_i, \dots, m^2_n\}$, $M^j = \{m^j_1, m^j_2, \dots, m^j_i, \dots, m^j_n\}$ ($j \leq n$)。从 1 到 i , 如果 m^k_i 里 1 的个数大于 0 的个数, 则取 $m'_1 = 1$, 否则取 $m'_1 = 0$ 。按类似方法, 可以得到 2 维工程图 G' 中的隐藏信息 $M' = \{m'_1, m'_2, \dots, m'_i, \dots, m'_n\}$ 。

4 性能分析

算法仿真在 P4 3.06 G, RAM 512 M, WinXP Professional, AutoCAD2006 以及其 VBA 开发环境中进行, 图 3 和图 4 分别为原始 2 维工程图和含隐藏信息“hunan university”的 2 维工程图。这里取混沌系统的初值 $x_0 = 0.54632$ 作为密钥 K 。

对比图 3 和图 4, 信息隐藏在工程图中是不可察觉的。同时经过测试, 可以正确提取隐藏信息

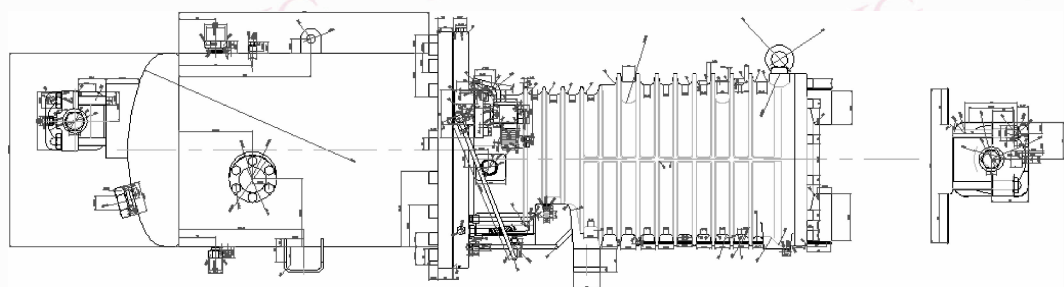


图3 原始2维工程图
Fig.3 Original 2D engineering graphic

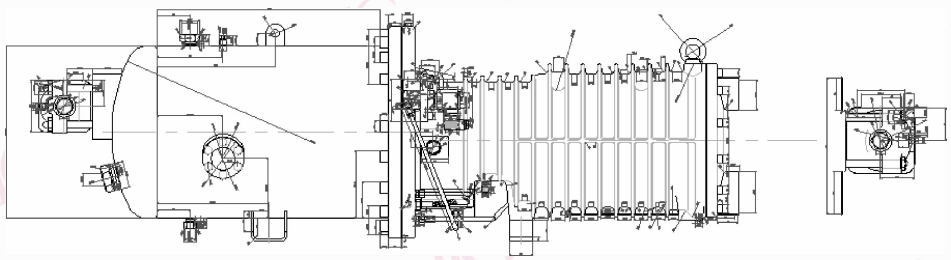


图4 含隐秘信息的2维工程图
Fig.4 2D engineering graphic with hiding information

“hunan university”。

4.1 隐藏信息容量

由于算法是通过修改标准实体的颜色以及标注实体的线宽来隐藏信息,每一个标注实体可以嵌入1比特的信息。但考虑到重复嵌入的问题,假设将同一信息重复嵌入 t 次。

则对于一个包含 n 个标注实体的2维工程图来说,可隐藏信息容量 $Capa$ 为

$$Capa = \left\lfloor \frac{n}{t} \right\rfloor \tag{5}$$

这里 $\lfloor a \rfloor$ 表示对 a 向下取整。

4.2 算法复杂度分析

无论是嵌入算法还是隐秘信息检测算法,由于都是按顺序对标注实体进行信息嵌入与提取,故对于一个存在 m 个标注实体的2维工程图,嵌入算法和检测算法的时间复杂度均为 $O(m)$ 。

4.3 抗攻击能力分析

在实际应用中,2维工程图需要进行整体的均匀缩放、旋转、平移等多种操作,因此,需要对分析该算法抵抗均匀缩放、非均匀缩放、旋转、平移、噪声以及剪裁等攻击的能力。

4.3.1 信息嵌入前后2维工程图比较分析

由于在AutoCAD2006中,大部分的线宽级差在

0.01~0.15 mm之间。由于隐藏信息后线段的线宽最多增大一级,因此大部分线宽的改变量不大于1/150英寸(约0.5磅 $\approx$ 0.176 mm),故能满足Maxenchuk所给出条件,故人体视觉系统无法辨识。同时,由于嵌入信息的标注实体颜色RGB值均减1,对于大多数采用白色(即RGB(255,255,255))绘图的情况下,根据Weber定律,人体视觉系统无法辨识。但是若绘图的颜色采用RGB值均小于50的话,会对嵌入信息后的2维工程图的不可察觉性有一定的影响。

4.3.2 抗均匀缩放攻击能力分析

为分析算法的抗均匀缩放攻击能力,首先在2维工程图中嵌入隐秘信息“hunan university”,然后将已嵌入隐秘信息的2维工程图分别进行均匀缩小和放大处理后,再提取处理后2维工程图中的隐秘信息。在缩放倍数分别为1/4,1/3,1/2,1,2,3,4的情况下,分别进行10次测试,测试结果如表1所示。

表1 2维工程图均匀缩放后的信息提取结果
Tab.1 Information detection results after equal scaling

缩放倍数	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4
测试次数	10	10	10	10	10	10	10
成功提取次数	10	10	10	10	10	10	10

由表 1 可知,对已嵌入隐秘信息的 2 维工程图分别进行均匀缩小和放大处理并不影响隐秘信息的提取,从而表明了算法具有较好的抗均匀缩放攻击的能力。

4.3.3 抗非均匀缩放攻击能力分析

为分析算法的抗非均匀缩放攻击能力,首先在 2 维工程图中嵌入隐秘信息“hunan university”,然后将已嵌入隐秘信息的 2 维工程图分别进行非均匀缩小和放大处理后,再提取处理后 2 维工程图中的隐秘信息。在图中任选 10 个区域分别进行缩放倍数为 1/4,1/3,1/2,1,2,3,4 的处理,测试结果如表 2 所示。

表 2 2 维工程图非均匀缩放后的信息提取结果

Tab.2 Information detection results after inequal scaling

缩放倍数	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4
测试区域	10	10	10	10	10	10	10
成功提取区域	10	10	10	10	10	10	10

表 2 表明,对已嵌入隐秘信息的 2 维工程图分别进行非均匀缩小和放大处理并不影响隐秘信息的提取,从而表明了算法具有良好的抗非均匀缩放攻击的能力。这是由于算法通过修改标注实体的颜色特性与线宽特性进行信息的嵌入,而这些属性不会因为实体的缩放而发生改变,因此不会影响隐秘信息的提取。

4.3.4 抗旋转攻击能力分析

为分析算法的抗旋转攻击能力,首先在 2 维工程图中嵌入隐秘信息“hunan university”,然后将已嵌入隐秘信息的 2 维工程图分别进行多次旋转处理后,再分别提取旋转后 2 维工程图中的隐秘信息。在旋转角度分别为 120°,90°,60°,30°,−30°,−60°,−90°,−120°,−180°的情况下,分别进行 10 次测试,测试结果如表 3 所示。

由表 3 可知,对已嵌入隐秘信息的 2 维工程图进行旋转后并不影响隐秘信息的提取,从而表明了算法具有较好的抗旋转攻击的能力。

表 3 2 维工程图旋转后的信息提取结果

Tab.3 Information detection results after rotation

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

4.3.5 抗平移攻击能力分析

此外,为分析算法的抗平移攻击能力,首先在 2 维工程图中嵌入隐秘信息“hunan university”,然后将已嵌入隐秘信息的 2 维工程图分别进行多次平移处理后,再分别提取平移后 2 维工程图中的隐秘信息。测试结果表明,在经过平移后的 2 维工程图中均能正确提取隐秘信息,表明了算法具有较好的抗平移攻击能力。这是由于平移操作不会对标注实体的颜色属性以及线宽属性产生影响,故不影响嵌入信息的提取。

4.3.6 抗噪声攻击能力分析

为分析算法的抗噪声攻击能力,首先在 2 维工程图中嵌入隐秘信息“hunan university”,然后将已嵌入隐秘信息的 2 维工程图加入噪声(可以是一些新增的点、线或其他实体),再提取处理后 2 维工程图中的隐秘信息。

对含隐藏信息的 2 维工程图添加了 60 个点,并将 60 个点散布在 2 维工程图中,如图 5 所示。通过对图 5 进行信息提取,得到了正确的隐秘信息;同时对含隐秘信息的 2 维工程图添加了线、标注等实体,仍能正确检测隐秘信息,这表明了算法具有良好的抗噪声攻击能力。这是由于噪声在原始工程图中没有对应实体,也就是没有相同的句柄值,而算法在进行隐秘信息提取中需要核对句柄值,对于原始 2 维工程图中不存在的实体不会进行处理,因此算法可以有效地抵抗噪声攻击。

4.3.7 抗剪裁攻击能力分析

为分析算法的抗剪裁攻击能力,首先在 2 维工程图中嵌入隐秘信息“hunan university”,然后将已嵌入隐秘信息的 2 维工程图分别进行部分实体的删除,再提取处理后 2 维工程图中的隐秘信息。

在图 3 所示的 2 维工程图中,其中标注实体个数 $m = 384$,嵌入比特数 $n = 128$,可重复嵌入的次数:

$$t = \left\lfloor \frac{m}{n} \right\rfloor = 3$$

(6)

故理论上只要删除的标注实体不大于 $\frac{1}{3}tn$,即 128,仍然能够成功提取隐秘信息。上述 2 维工程图进行的测试也同样表明只要删除的标注实体不大于 128 个,能够完全成功提取隐秘信息。

相对应的,当重复嵌入次数为 t 时,只要删除的标注实体不大于 $\frac{1}{3}tn$,仍能正确提取隐秘信息。

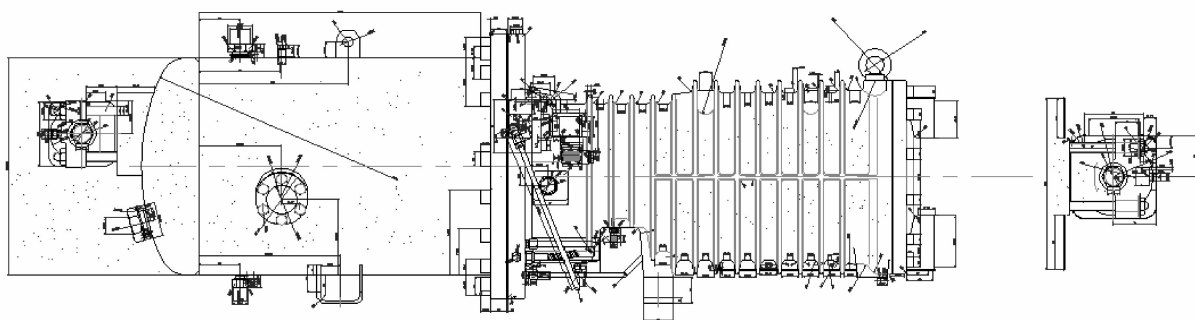


图5 添加噪声后的含隐藏信息的 2 维工程图

Fig. 5 Adding noise to a 2D engineering graphic with hiding information

4.3.8 抗组合攻击能力分析

分析算法的抗组合攻击能力,是指对嵌入隐秘信息后的 2 维工程图采用任意两种或两种以上的攻击方法进行攻击,算法对处理后的 2 维工程图中的隐秘信息的能否正确提取的能力。

由于算法对均匀缩放攻击、非均匀缩放攻击、旋转攻击、平移攻击、噪声攻击和剪裁攻击具有良好的鲁棒性,故对这几种攻击的任意组合均能有效抵抗。

而对于这些攻击与剪裁攻击进行组合的一类攻击来说,算法抗组合攻击的能力则主要取决于抗剪裁攻击的能力。

4.4 嵌入容量、鲁棒性和不可见性的关系分析

由式(5)可知,嵌入容量 $Capa$ 与标注实体的个数 m 成正比,与重复嵌入的次数 t 成反比。而重复嵌入的次数越多,由 4.3.7 可知,算法抗剪裁攻击的能力就越高,表明算法的鲁棒性与充裕嵌入的次数 t 成反比。因此嵌入容量与鲁棒性成反比。

由于信息的嵌入是通过修改标注实体的颜色属性和线宽属性,由于修改的方法是一定的,故嵌入信息的不可见性只与实体本身属性的数值有关,如果标注实体绘图的颜色采用 RGB 值均小于 50,或线宽的改变量大于 0.176 mm,则根据 HVS 的特征,嵌入信息的不可见性将受到影响。

5 结 论

基于 HVS 与标注特征,提出了一种 2 维工程图的信息隐藏算法。该算法先获得工程图中的标注实体集,然后根据所产生的二值化混沌序列对待隐藏信息进行加密,结合 HVS 和隐秘信息,依次对标注实体集的实体的线宽与颜色进行微小修改,从而实

现信息的隐藏。测试结果表明,算法对均匀缩放、局部缩放、旋转、平移、噪声等攻击具有较好的鲁棒性,抗剪裁攻击的能力与重复嵌入的次数以及嵌入的比特数成正比。与文献[3]相比,通过重复嵌入信息,增强了算法抵抗剪裁攻击的能力;与此同时,与文献[1]~[2]中所提出的算法相比,本算法通过改变标注实体颜色和标注实体线宽来隐藏信息,不会修改顶点间的距离,也不会改变了 2 维工程图的加工尺寸,不会对产品的生产和制造产生影响,更能满足实际应用的需要。

参考文献 (References)

- 1 Wang Ya-shun, Xu Ming-zheng. Scale digital watermarking algorithm based on two-dimensional engineering graphics[J]. Journal of Nanchang University (Engineering & Technology), 2003, 25(4): 29-31. [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.]
- 2 Wang Ya-shun, Liu Liang-wen, Xu Ming-zheng. Spread spectrum digital watermarking algorithm based on two-dimensional engineering graphics [J]. Journal of Nanchang University (Engineering & Technology), 2005, 27(4): 91-94. [汪亚顺, 刘良文, 徐铭政. 基于二维工程图的数字水印扩频算法[J]. 南昌大学学报(工科版), 2005, 27(4): 91-94.]
- 3 Peng fei, Sun xing-ming. A information hiding algorithm for two-dimensional engineering graphics based on characteristics [J]. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(15): 54-55. [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): 54-55.]
- 4 Brassil J T, Low S, Maxemchuk N F. Copyright protection for the electronic distribution of text document[J]. Proceedings of the IEEE, 1999, 87(7): 1181-1196.
- 5 Ganzalez R C, Wintz P. Digital Image Processing. (2nd Edition) [M]. New York: Addison-Wesley Publishing Company, 1987, 34-38.