

一种基于特征点的矢量地图水印算法

谭 斌^a, 李 岩^{a,b}

(华南师范大学 a. 计算机学院; b. 空间信息技术与应用研究中心, 广州 510631)

摘 要: 提出一种基于特征点的矢量地图水印算法。在嵌入水印信息前, 采用 Torus 自同构映射对水印图像进行置乱处理, 将矢量地图分割为指定数量顶点的曲线集合, 选择曲线中角度最小的顶点作为特征点, 在地图精度允许的范围内, 通过改变该特征点的坐标值, 将制作的水印图像重复嵌入到这些特征点中。实验结果表明, 该算法不仅能获得较好的地图精度, 且对压缩攻击和各种裁剪攻击也具有较好的鲁棒性。

关键词: 矢量地图; 水印; 曲线分割; 特征点; 鲁棒性

Watermark Algorithm for Vector Map Based on Feature Point

TAN Bin^a, LI Yan^{a,b}

(a. School of Computer; b. Spatial Information Research Center, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

【Abstract】 In this paper, a watermark algorithm for vector map based on feature point is proposed. Before watermark bit is emedded, it is scrambled by Torus automorphic map. The curves are divided into a specified number of vertex set curves to define the feature point of the curves by the minimum angle of this curve. In the range of map precision allowing, by means of changing the feature point coordinates to manufacture the watermark image repeatedly embedded into the feature points. Experimental results show that this algorithm not only can assure a good map precision, but also has a good robustness under clipping and compressing attacks.

【Key words】 vector map; watermark; curve partition; feature point; robustness

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.04.043

1 概述

矢量地图广泛应用于地理信息系统、军事测绘等领域。随着互联网技术和无线网络的发展, 矢量地图数据的传输与交换也越来越频繁。由于矢量数据的来源却弥足珍贵, 通常要耗费大量的财力物力, 因此对矢量地图数据进行版权保护显得尤为重要^[1]。作为数字作品版权保护的新技术, 数字水印为矢量地图数据的版权保护提供解决途径。

一般认为, 矢量地图数字水印应该满足以下基本要求:

(1)不可感知性: 即水印信息的嵌入不会影响地图的视觉效果, 使得视觉系统对它难以察觉; (2)鲁棒性: 即嵌入的水印地图能够抵抗各种常见的攻击, 在被攻击之后仍具有较好的可检测性; (3)地图的实用性: 即在嵌入水印后, 矢量地图数据仍具有较好的几何精度。

在有关矢量地图水印的研究中, 文献[2]将矢量地图分成顶点密度均匀的子块, 把水印嵌入到子块的顶点坐标中; 文献[3]在文献[2]的基础上, 对地图按坐标平均分块, 根据每块顶点密度对水印的强度进行自适应调制; 文献[4]把矢量图形分为网格, 将图形分为几个子区域, 通过在容差(Tolerance)范围内移动坐标点来添加水印; 文献[5]将矢量图层按照自身的多边形分割为子区域, 在每个子区域中某一条边顶点的容差范围内嵌入新的点作为水印信息; 文献[6]将矢量图形视为曲线的集合, 按设定阈值进行曲线分割, 在容差范围内, 对曲线中的每个结点嵌入一个含有用户证书信息的水印点; 文献[7]针对矢量地图数据自身特点, 先对矢量地图数据进行数据压缩, 再选择特征点进行水印信息的嵌入。

根据矢量地图数字水印算法的特点, 一个鲁棒性的水印算法应具备以下基本要求: (1)水印信息的均匀分布性。即:

水印信息要均匀嵌入到矢量地图的数据集中, 应依据数据集的分布, 在相应的区域中嵌入适量的水印信息, 如文献[2-6]算法; (2)水印嵌入的高效性。在满足嵌入水印信息的前提下, 对于矢量地图数据点的改动, 应越少越好。文献[6]对每条曲线除起始点和结束点外的所有结点都嵌入一个水印点, 嵌入的水印位过多, 致使矢量图形文件增大较多, 不利于水印地图精度的保证和网络应用。因此, 应该在相对重要的数据点(特征点)中嵌入水印。例如: 文献[7]采用先对数据进行道格拉斯-普克法进行压缩, 而后在特征点嵌入水印信息的方法, 提高水印的嵌入效率。(3)鲁棒性。即嵌入的水印地图能够抵抗各种常见的攻击, 如: 裁剪攻击和压缩攻击, 在被攻击之后仍然具有较好的可检测性; 文献[8]采用改进的 Douglas-Peucker 算法对冗余顶点进行压缩, 利用压缩后的顶点数据嵌入水印, 具有较好的抗压缩效果。

本文在总结矢量地图数字水印算法特点的基础上, 根据矢量地图数字水印算法的要求, 提出了一种基于特征点的矢量地图数字水印算法。

2 基于特征点的矢量水印嵌入算法

2.1 水印信息的生成

数字水印的嵌入和提取算法对水印信息的安全性影响很

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60842007); 广东省科技创新百项工程基金资助项目(2002B32101); 广东省重点引导基金资助项目(2004B32501001, 2005B30801006)

作者简介: 谭 斌(1984—), 男, 硕士研究生, 主研方向: 空间信息技术; 李 岩, 教授

收稿日期: 2011-07-28 **E-mail:** yanli@scnu.edu.cn

大, 如果提取算法被破解, 水印信息就很容易受到攻击和破坏。为增强安全性, 可在水印嵌入之前, 对其进行置乱操作。

本文采用 Torus 自同构映射对一幅二值水印图像进行置乱操作, 以增强水印信息的安全性。例如, 给定一幅二值图像 BB, 先对其进行 Torus 自同构映射置乱处理, 以消除其在空域中的相关性。水印置乱效果如图 1 所示。

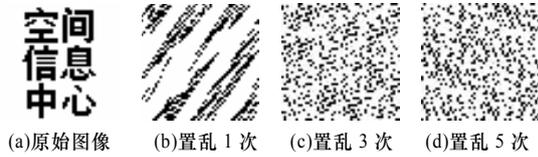


图1 水印置乱效果

在对其进行置乱后, 再对水印图像进行逐行扫描排列成一个序列 $b = \{b_i\}, i = 1, 2, \dots, m$ 。为抵抗噪声攻击, 本文采用重复嵌入水印信息的方法, 将 BB 按元素逐个重复 n 次, 得到待嵌入的水印序列 $B = \{B_i\}, i = 1, 2, \dots, m \times n$ 。为便于计算, 对水印序列 B 进行以下计算调整得到序列 B' :

$$B' = \begin{cases} -1 & \text{if } B_i = 0 \\ 1 & \text{if } B_i = 1 \end{cases} \quad (1)$$

置乱后的水印图像将图像特征均匀分布到图像中, 可以有效地抵抗裁剪攻击, 而不会在裁剪攻击后, 造成局部信息的缺失。重复嵌入水印信息可以提高对水印信息位的提取检测, 使得水印信息位不会因某一次水印信息位的缺失而提取失败。

2.2 曲线的调整

为能将水印信息均匀地分配到矢量地图中, 需先对其进行曲线调整。假设曲线分割的长度为 l , 即: 平均对 l 个顶点分配一个水印信息位, 若某一待嵌入的矢量图顶点数为 N , 则将原曲线分割为 N/l 个曲线集合。

对于开放型 SVG(Scalable Vector Graphics)格式的矢量地图, 在矢量图层中各个多边形或各条曲线所包含的顶点个数不同, 存在公共边叠置的情况。如果直接对其嵌入水印, 就可能会造成公共边顶点的分裂现象。公共边添加水印后的效果如图 2 所示, 其中, 图 2(b)是在公共边顶点 P6 处嵌入水印后的矢量图。

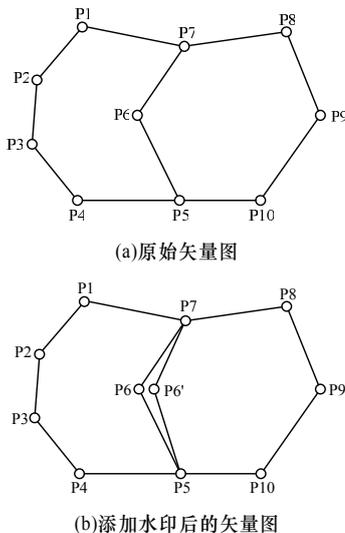


图2 公共边添加水印后的效果

由图 2 可知, 为避免分裂现象, 在对矢量图进行曲线分割之前, 先分离其公共边; 然后, 再对所有曲线根据曲线分

割的长度进行调整, 此种方法可以避免对公共边进行重复的曲线分割。

2.3 特征点的选择

在水印信息嵌入之前, 还需要确定所要嵌入的数据点。特征点是指能够代表该图形元素曲型特征的顶点。本文采用角度最小的点作为特征点, 例如, 某条曲线(如图 3 所示特征点的选择)通过各个顶点的坐标点依次计算每个顶点的夹角, 可以得知, H 点所在顶点夹角最小, 故将选择顶点 H 点作为这条曲线的特征点; 根据每条曲线匹配的水印序列号, 确定 H 点对应的水印信息位, 通过对 H 点做相应的坐标变换, 即可实现将对应的水印序列嵌入到这条曲线中。

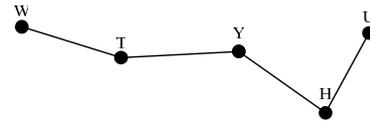


图3 特征点的选择

2.4 水印的嵌入

在分割调整的图层曲线集后, 则可将水印信息位逐个嵌入到每一条曲线中, 一条子曲线对应一个水印信息位。如前所述, 在每一条子曲线中的特征点, 通过改变该顶点的坐标来实现水印信息的嵌入, 其坐标变换式如下:

$$v'_{im} = v_{im} + b'_i \cdot \alpha \quad (2)$$

其中, v'_{im} 表示变换后的特征点坐标; v_{im} 表示特征点的原坐标; b'_i 表示特征点对应的水印信息位; α 表示坐标容差。 v_{im} 表示如下:

$$v_{im} = \begin{cases} vx_i & \text{if } b'_i = 1 \\ vy_i & \text{if } b'_i = -1 \end{cases} \quad (3)$$

由于只对每条子曲线的一个特征点进行改变, 且改变在该坐标点的容差范围之内(视不同尺度地图的精度而定), 因此水印的嵌入不会对原图造成大的改变, 可保证地图的精度。

3 矢量地图中水印的提取

根据水印检测过程是否需要原始图像, 可将水印算法分为非盲水印和盲水印算法。本文算法是非盲水印, 即检测过程需要原图。

水印提取是水印嵌入的逆过程。首先, 对原始图像进行曲线分割, 得到原图中的特征点; 然后, 将原图中的特征点与待检测的水印图进行比较。若原地图中的特征点与待检测地图中最邻近相匹配, 则为水印信息点, 通过式(4)计算两者的关系, 可以得到对应的水印信息。

在检测时, 水印信息位的计算式如下:

$$B'' = \begin{cases} 1 \text{ or } -1 & \text{if } v'_{im} - v_{im} = \alpha \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (4)$$

其中, 如果 $B''=0$, 则表明该特征点对应的水印信息位已经被移除, 提取的水印信息无效。算法采用重复嵌入的方法, 是为提高其他特征点对应的这个水印信息位的可信度。对于重复 n 次嵌入后提取出的水印信息位, 提取出来的是 n_1 个 $B''=1$ 、 n_2 个 $B''=-1$ 和 $n-n_1-n_2$ 个 $B''=0$, 取次数较多的为最后提取的水印信息位。然后, 通过式(1)进行逆向调整, 即可得到提取的水印序列。

4 实验结果与分析

取实验样本点数为 $N_1=132\ 185$ 和 $N_2=66\ 834$ 的 SVG 矢量地图进行仿真实验, 二值水印图像的大小是 50×50 像素, 进行 Torus 自同构映射 3 次置乱处理。

4.1 普通几何攻击

对嵌入水印后的矢量地图进行以下普通攻击：(1)将所有水印图的顶点坐标分别向 x 方向和 y 方向进行平移；(2)按照比例因子进行放大或缩小；(3)以坐标原点为中心进行旋转等操作。由于矢量图本身的特点，以上普通攻击均对水印的提取没有影响^[1]，实验结果表明，这些水印检测的相似度均接近 1.0。

4.2 裁剪攻击

当对水印矢量地图进行裁剪攻击时，其水印序列受到了破坏，一些水印信息位被移除，其水印提取的相似度将受到影响。对实验所用的矢量地图进行裁剪攻击，5 种裁剪攻击如图 4 所示，C0 是完整的水印图；C1~C5 是对其进行进行裁剪攻击后的模型图。其中，C1、C2、C4 是区域裁剪；C3、C5 是任意裁剪，裁剪攻击后的水印提取结果如表 1 所示。

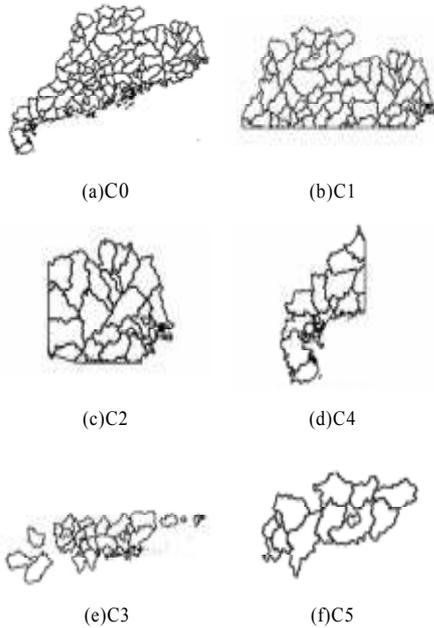


图 4 5 种裁剪攻击

表 1 裁剪攻击后的水印提取结果

裁剪模式	原结点数	剩余结点数	相似度
C1	132 185	58 496	1.000 0
C2	132 185	39 089	0.869 6
C3	132 185	29 575	0.844 8
C4	132 185	22 419	0.696 8
C5	132 185	11 170	0.442 8

由表 1 可知，在裁剪攻击中，若 m 表示所嵌入图像的水印信息位数， l 表示曲线分割的顶点数， r 表示裁剪攻击后的剩余结点数，那么当 $r > m \times l$ 时，即表示所裁剪的图形中至少能提取出一个完整的水印信息位。当裁剪攻击后的剩余结点数超过 25 000 个结点时，其相似度均在 0.8 以上。当剩余结点数少于 25 000 个结点时，其相似度随着结点数的减少而逐渐减少，其值接近 $r/(l \times m)$ 。

4.3 压缩攻击

设曲线分割顶点数为 $l=10$ ，对 2 幅 SVG 矢量地图(GD 和 bndcity)进行压缩攻击实验。图 5 是对水印地图采用道格拉斯-普克压缩算法压缩之后，道格拉斯-普克阈值与剩余结点的关系。

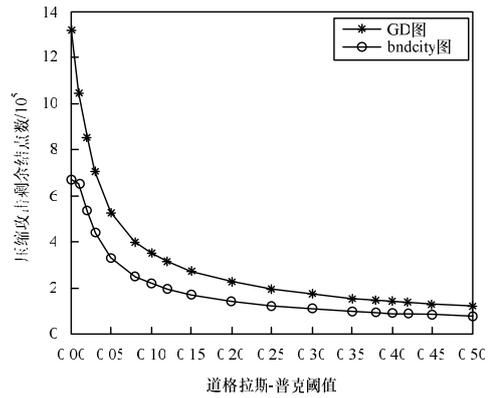


图 5 道格拉斯-普克阈值与剩余结点的关系

由图 5 可知，当阈值小于 0.1 时，剩余结点随着阈值的增大而迅速减少。究其原因，道格拉斯-普克压缩算法的阈值 σ 为相邻 2 条线段的斜率之差，若结点处于比较平直的曲线上，则容易被压缩掉。如图 3 中曲线所示，相对于其他各点，T 点容易被压缩。而当阈值达到某一值时，其压缩效果则不明显，即剩余结点所相邻 2 线段的斜率之差比较大，特征相对比较明显。

图 6 为采用道格拉斯-普克压缩算法进行压缩之后，水印提取相似度与道格拉斯-普克阈值的关系。图 7 为部分水印提取效果。

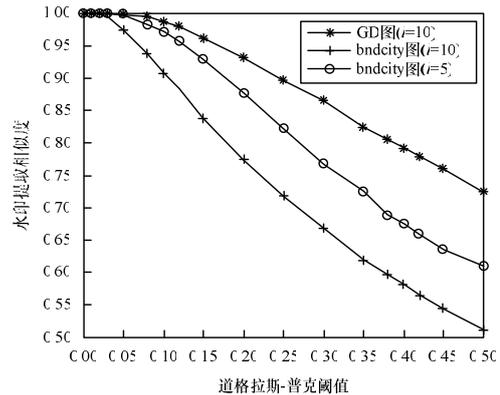


图 6 水印提取相似度与道格拉斯-普克阈值的关系



图 7 部分水印提取效果

由图 6、图 7 可知，当同样取 $l=10$ 时，2 幅矢量地图(GD 和 bndcity 图)所提取水印信息的相似度 bndcity 要小于 GD，这是因为 GD 比 bndcity 所提取的有效水印信息位要多。而当曲线分割数量 $l=5$ 时，bndcity 所嵌入的水印信息位相应要增加，其提取的水印相似度也会随之增大。当 GD 的剩余结点大于 20 000 时，其相似度还能保持在 0.8 以上。其主要原因在于，由于本文算法选择最小角作为特征点，若其曲率比较大，压缩后仍有许多特征点被保留下来，因此基于特征点的水印算法具有较高的抗压缩性。(下转第 139 页)