

# 以夹角调制的矢量地图可逆水印算法

张 驰<sup>1,2</sup>, 李安波<sup>1</sup>, 闫国年<sup>1\*</sup>, 林冰仙<sup>1</sup>

(1. 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京 210046; 2. 南通大学地理科学学院, 南通 226019)

**摘要:** 传统水印嵌入方法往往导致原始载体数据质量的下降, 而可逆水印技术由于能完整恢复原始载体数据, 因此, 在精度要求较高的矢量地图版权保护应用中具有较高的适用性。目前, 栅格图像的可逆水印算法研究较为成熟, 而在矢量地图领域则主要借鉴栅格图像的相关方法, 由于没有充分利用矢量数据的组织特性, 因此鲁棒性不强。针对上述问题, 本文以矢量地图坐标点之间的基本空间关系在常规地图操作前后的不变性, 提出一种鲁棒的矢量地图可逆水印算法。算法首先利用道格拉斯—普克方法将要素点分为特征点与非特征点两类, 在此基础上计算每个非特征点与其相邻前后特征点连线所构成的夹角。在水印嵌入时, 利用该夹角来映射水印比特位, 并通过调整非特征点坐标来对该夹角进行调制以实现水印信息的嵌入。实验表明该算法所生成的水印具有一般可逆水印的不可感知性与可逆性, 同时, 对旋转、平移、要素排序、裁剪、压缩、简化等攻击也具有较好的鲁棒性。

**关键词:** 可逆水印; 夹角调制; 鲁棒性; 矢量地图

**DOI:** 10.3724/SP.J.1047.2013.00180

## 1 引言

目前, 矢量地图在诸多领域得到广泛的应用, 而矢量地图极高的精度要求以及易被非法复制、篡改和传播等特性, 使得矢量地图的版权保护问题日益突出<sup>[1]</sup>。传统水印往往由于水印的嵌入而使原始载体的质量下降<sup>[2-3]</sup>, 这在一些精度要求较高, 以及原始载体数据不容篡改的场合是不符合要求的。而可逆水印技术由于能完整恢复原始载体数据, 因此, 在较高精度要求(如军事地图)的矢量地图版权保护应用中具有较高的适用性。

目前在栅格图像领域可逆水印的研究较为成熟<sup>[4-6]</sup>, 而矢量地图的可逆水印研究则起步较晚。Voigt等通过修改原始矢量地图数据的DCT系数来隐含水印信息, 并实现了矢量地图的无损恢复<sup>[7]</sup>, 这是可逆水印技术在矢量地图领域的首次应用。随后以差值扩大<sup>[8-11]</sup>、插值预测<sup>[12]</sup>等技术对矢量地图可逆水印展开了研究, 但其主要侧重于嵌入容量等指标的研究, 而较少考虑鲁棒性。矢量数据在实际应用中经常需要遭受旋转、缩放、平移, 以及要素排序、裁剪、压缩简化等常规操作。因此, 在可逆水印算法的实

现中仍然需要考虑针对这些操作的鲁棒性。在后续的研究中, 部分学者在矢量数据水印的算法设计也部分考虑了鲁棒性指标。钟尚平等<sup>[13]</sup>采用复合整数变换差值扩大法进行了水印的嵌入, 并对鲁棒性进行了讨论, 但该方法对几何攻击的鲁棒性较差, 且难以应对压缩攻击; 李黎等<sup>[14]</sup>所提出的算法仅能抵抗旋转攻击, 而对其他攻击没有进行探讨。雷瑜洲<sup>[15]</sup>提出了一种以小波变换的二维CAD工程图可逆水印算法, 该算法能抵抗一般的几何攻击, 但是针对压缩、简化等攻击不具有鲁棒性。上述算法之所以在鲁棒性方面效果不理想, 其根本原因在于: 只是单纯借鉴图像领域的相关方法, 而没有充分考虑GIS矢量数据的组织特性来设计算法。

相对于图像、音频等数据, 矢量数据的显著特征在于其坐标点之间具有一定的空间关系, 对矢量数据进行旋转、平移、缩放等几何操作以后, 矢量数据的某些空间关系(如线段之间的夹角、线段之间的相对比例等)仍然可以保持不变。为此, 本文针对当前矢量数据可逆水印算法所存在的问题, 充分考虑GIS矢量数据的特性, 提出一种以夹角变换的矢量地图数字水印的嵌入与提取算法。具体过程

收稿日期: 2012-11-08; 修回日期: 2013-01-03.

基金项目: 国家社会科学基金重大项目“我国地理信息安全的政策和法律研究”(11&ZD162)。

作者简介: 张驰(1982-), 男, 南通人, 博士研究生, 研究方向为地理信息系统技术, 地理信息安全。E-mail: benz1983@163.com

\*通讯作者: 闫国年(1961-), 男, 江苏海安人, 博导, 教授, 研究方向为虚拟地理环境。E-mail: gnlu@njnu.edu.cn

为:采用道格拉斯—普克方法将要素中的点分为特征点与非特征点两类,对符合条件的非特征点,计算其与相邻特征点连线的夹角,并通过修改该点坐标来对夹角进行调制以实现水印信息的嵌入。该算法是一个可逆操作,能在提取水印的同时无损地恢复原始数据,且对几何攻击、要素排序、裁剪、压缩等操作具有较强的鲁棒性。

## 2 水印嵌入原理

矢量数据具有特定的数据结构,多样的数据组织方式,复杂的空间关系,以及精度高、冗余少、数据量大等特性,这些都与图像数据有较大的区别。因此,在设计水印算法时需要充分考虑上述因素。

要设计出鲁棒性强的可逆水印算法,其关键是找到矢量数据在这些常规操作(平移、旋转、缩放、要素排序、裁剪、压缩等)前后的不变量。在这些不变量中嵌入一定的水印信息,就可以抵挡相应的攻击。这就需要将上述操作进行分类,分析出各类操作的特征并进行综合,在水印的嵌入策略、调制方法、以及嵌入模式等方面进行综合,最终产生一个抵抗多种攻击的鲁棒性水印。

上述常规操作大致可以分为以下3类

- (1)几何操作,如旋转、平移、缩放等。
- (2)编辑操作,如要素排序、裁剪、增删点等。
- (3)简化操作,如数据压缩、图形简化等。

对于第一类操作,可以要素坐标点之间的基本空间关系在几何操作前后的不变性进行处理。例如,图1所示的某一要素中的3个点A、B、C,在旋转、缩放、平移等操作中,其线段AB与AC的夹角 $\theta$ 始终保持不变。因此,在嵌入水印时,可基于水印位对角度 $\theta$ 进行调制来嵌入水印。这样就使得水印信息在经过旋转、平移、缩放等几何操作后都能提取出来。

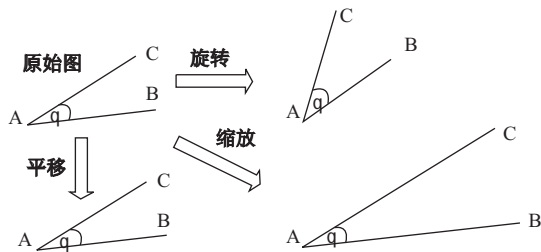


图1 空间关系在几何操作前后的不变性

Fig.1 The invariance of the basic spatial relationship before and after conventional geometric operation

对于第二类操作,可通过调整嵌入模式来进行处理。传统的顺序嵌入法之所以不能抵抗要素排序、删点等攻击,从本质上来讲是因为坐标点在文件中出现的顺序是相对、易变的。而文献[16]所提出的以坐标位置来进行水印位映射的方法可以较好地解决该问题。其基本思想为:设水印生成的固定长度为 $N$ ,并将坐标文件中所有的坐标点按照其坐标值均匀地映射到 $[0, N-1]$ 上,从而对应该坐标点所应嵌入的水印比特。令映射函数为 $f(x, y)$ ,水印信息为 $W=\{w[i]\} (0 \leq i \leq N-1)$ ,即要求 $0 \leq f(x, y) \leq N-1$ 。同时,考虑到算法的鲁棒性, $f(x, y)$ 应尽量均匀地把 $(x, y)$ 映射到 $[0, N-1]$ 上。但单纯的采用该方法仍会遇到一定的问题。例如,在对数据进行旋转、平移、缩放等几何操作之后,坐标本身会发生变化,这将直接导致水印比特映射的错误。本文对该方法进行改进,将上文所提到的线段之间的夹角 $\theta$ 的小数部分有效数字进行截取后与水印进行映射。由于夹角 $\theta$ 在旋转、平移、缩放等几何操作前后具有不变性,这样就使得要素在经过几何攻击之后,仍能保持映射关系,从而正确地提取出水印信息。与此同时,该方法使得嵌入位置与水印信息成为一个多对一映射,相当于水印信息进行了多重嵌入。这样,裁剪、删除点等编辑操作所破坏的某些位置的水印比特信息,完全有可能从该矢量地图的其他位置进行恢复。因此,该方法的水印对裁剪、删除点等操作也具有较强的鲁棒性。综合使用上述方法,使得水印可同时抵挡一、二两类攻击。

对于第三类操作,考虑到一般的压缩、简化操作都以不破坏地图特征点为前提,可在提取特征点的基础上来进行水印信息的嵌入。类似方法在文献[17]中也有提及,本文将结合第一、第二类操作对该方法进行综合应用,最终设计出一种能够抵抗多种攻击的矢量地图可逆水印算法。

## 3 水印嵌入与提取算法的计算

### 3.1 水印嵌入算法

水印嵌入流程如图2所示,主要包括以下6个步骤:

#### (1)要素预处理

对要素以 $T$ 为阈值进行道格拉斯—普克操作,经过压缩后的点作为特征点进行存储。该过程需要对压缩阈值 $T$ 进行选择。 $T$ 值取的过大会导致所留下的特征点太少,这样在后期的角度调制过程中

会对原始数据产生较大扰动;  $T$  值取的过小则会导致留下过多的特征点, 这样在压缩率较大的情况下会破坏原有水印信息。一般可根据实际压缩需求的最大压缩率  $P$  来选择  $T$  值。理想情况下, 以  $T$  为阈值进行压缩以后, 所留下特征点数与总点数的比值应略小于  $2(1-P)/3$ 。这样在压缩过后, 水印信息仍然可以从未被去除的非特征点中进行提取。即使压缩率接近  $P$ , 仍能较理想的提取出水印信息。经过该操作, 可以将要素分为特征点与非特征点两部分。后期的水印嵌入将以特征点为控制点, 在非特征点中进行嵌入操作。

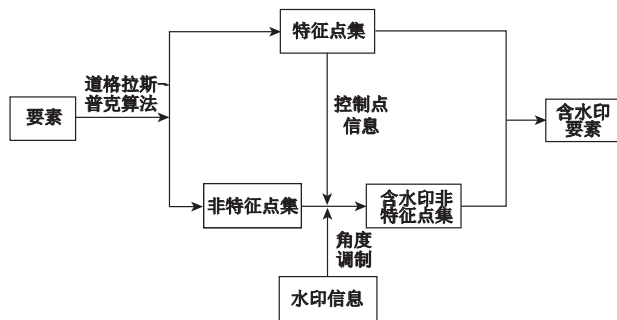


图2 水印嵌入流程

Fig.2 The workflow of watermarking embedding

(2) 计算要素中的每一个非特征点与相邻前后特征点连线的夹角  $\theta$

对需要处理的非特征点坐标对  $G_i(X_i, Y_i)$ , 查找与其相邻的前后两个特征点  $A(X_m, Y_m)$ 、 $B(X_n, Y_n)$ 。具体方法为: 以  $G_i$  起点, 在其所在要素的坐标对序列中分别向前和向后搜索。假设当前点为非特征点, 则继续向前(后)搜索, 直到搜索到与其最近的前特征点和后特征点为止。在此之后, 以  $A$  点、 $G_i$  点为端点, 生成向量  $AG_i(X_i - X_m, Y_i - Y_m)$ ; 以  $A$  点、 $B$  点为端点, 生成向量  $AB(X_n - X_m, Y_n - Y_m)$ 。计算向量  $AG_i$  和  $AB$  的夹角  $\theta$ 。

(3) 选择调制区间, 为水印的嵌入做准备

① 根据要求设置一个调制角度  $\eta$  (方便起见,  $\eta$  一般取整数)

调制角度  $\eta$  直接影响了水印嵌入前后矢量地图数据的精度变化, 因此该角度的选择需要适中, 如果角度太大, 会使调制后数据的误差扰动过大, 而角度过小则会导致符合嵌入条件的点太少, 从而影响嵌入强度。一般可针对某一图层采用多组角度值进行测试, 选择一个相对理想的调制角度。

② 选择一个区间  $\theta \in [\alpha, \alpha + \eta)$  作为水印的嵌入

区间

由于  $\alpha$  的取值决定了水印的嵌入区间, 因此, 需要对其进行讨论。因为地理坐标具有相关性, 点与相邻控制点构成的夹角  $\theta$  通常较小。在一般情况下, 所取的  $\alpha$  值越接近于 0, 则符合要求的点越多, 但对夹角  $\theta$  接近 0 值的点进行调制会对原图带来较大扰动。另一方面,  $\alpha$  值取得过大则会导致符合要求的点较少, 从而导致嵌入的水印信息太少。考虑上述问题, 本文采用试验的方法来确定  $\alpha$  值, 即针对某一图层选择多组数据进行测试, 使得扰动控制在一定范围的基础上能尽可能多的嵌入水印信息。

(4) 以  $\theta \in [\alpha, \alpha + \eta)$  的点为载体进行水印信息的嵌入

① 判断向量  $AG_i$  和  $AB$  的左右关系并设置标志值  $flag$ , 若  $AG_i$  在  $AB$  的左侧, 设  $flag$  为 true, 否则设  $flag$  为 false。

② 根据角度值  $\theta$  映射该点对应的的水印位, 考虑到旋转前后映射值的唯一性, 需要取旋转前后  $\theta$  值的不变量进行映射。由于旋转角度  $\eta$  一般取整, 故旋转前后  $\theta$  的小数部分属于不变量, 且该值的小数部分在旋转、平移等几何操作之后仍可保持不变。因此, 可取  $\theta$  的小数部分来进行映射。一般情况下取小数点后 4 到 5 位有效数字来对水印位进行映射以获得该点需要嵌入的水印比特 bit。

③ 利用角度旋转方法实现水印信息的嵌入, 根据水印比特信息 bit 以及  $flag$  值做以下处理:

当水印比特为 1 且  $flag$  值为 true 时, 将  $G_i$  绕  $A$  点逆时针旋转角度  $\eta$ , 使新生成的夹角  $\theta$  落在区间  $[\alpha + \eta, \alpha + 2\eta)$ 。

当水印比特为 1 且  $flag$  值为 false 时, 将  $G_i$  绕  $A$  点顺时针旋转角度  $\eta$ , 使新生成的夹角  $\theta$  落在区间  $[\alpha + \eta, \alpha + 2\eta)$ 。

当水印比特为 0 时, 不进行处理。

(5) 为了使含水印数据不会与原有数据区间重叠, 对于  $\theta \in [\alpha + \eta, 180 - \eta)$  区间的点, 需要将其角度增加  $\eta$ , 使其区间转到  $[\alpha + 2\eta, 180)$ 。而对于  $\theta \in [180 - \eta, 180)$  区间的点, 由于处理后会与数据区间重叠, 因此, 对于这些点不能采用前述方法进行处理。考虑到属于该区间的数据点极少, 本文采用如下方法: 即不对角度进行调制, 而仅仅将这些数据的相关信息记录下来, 存入未处理数据集集合  $C$ 。

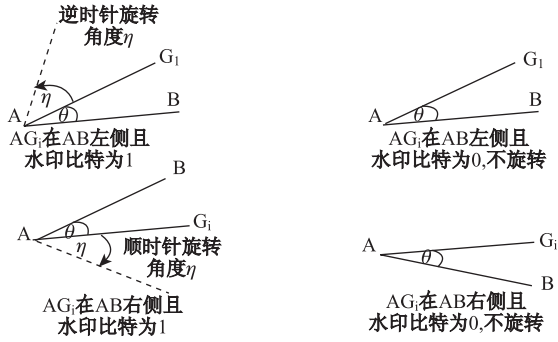


图3 夹角变换原理

Fig.3 The principle of angle modulating

在经过步骤(4)和(5)的旋转后会造成另一个问题,即某些点经过角度 $\eta$ 的旋转之后所产生的误差扰动过大,直接导致其所在要素的特征点提取在扰动前后出现不一致的情况,这种不一致将直接影响水印的提取过程。但考虑到该类点在要素中较少(经过试验发现,一般占总点数的0.5%左右)本文对这种情况的处理办法为:在进行角旋转之后再次对该要素进行道格拉斯-普克操作,并比较角度调制前后的特征点是否完全一致。如果不一致,则该点不进行角度调制,同时将该数据点相关信息记录下来,存入未处理数据集合C。

(6)将旋转值 $\eta$ 、压缩阈值T、未处理数据集合C与区间起始值 $\alpha$ 存入密钥文件license。

### 3.2 水印提取算法

水印提取方法是嵌入方法的逆过程,具体分为以下4个步骤:

(1)从密钥文件license中读取旋转值 $\eta$ 、压缩阈值T、未处理数据集合C、区间始值 $\alpha$ 等数据;

(2)提取要素特征点,以阈值T对要素点进行道格拉斯-普克操作,将其分为特征点和非特征点两部分;

(3)对要素中每一个非特征点,计算其与相邻前后特征点所构成的向量夹角 $\theta$ ;

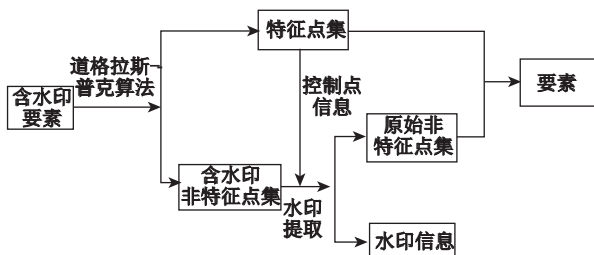


图4 水印提取流程

Fig.4 The workflow of watermarking extracting

(4)从非特征点中提取水印信息,并恢复要素。对于属于集合C的点,不进行处理;对于不属于集合C的点,根据夹角 $\theta$ 做以下操作:

①  $\theta \in [0, \alpha]$ , 则该数据点不含水印信息,且前期未进行角度旋转,不需要进行处理。

②  $\theta \in [\alpha + 2\eta, 180]$ , 则该数据不含水印信息,只需要将其角度缩小 $\eta$ 恢复到区间 $\theta \in [\alpha + \eta, 180 - \eta]$ 。

③  $\theta \in [\alpha, \alpha + 2\eta]$ , 则该数据为含水印数据,首先根据 $\theta$ 值映射其所对应的水印位(同水印嵌入时的映射方法),找到对应的水印位之后提取水印比特信息,此时又分为两种情况:一是 $\theta \in [\alpha, \alpha + \eta]$ 该数据含水印比特为0且前期未进行角度转换,只需提取水印信息;二是 $\theta \in [\alpha + \eta, \alpha + 2\eta]$ 该数据含水印比特为1且前期进行了角度转换,因此需要将其角度缩小 $\eta$ 将其调制到区间 $[\alpha, \alpha + \eta]$ 并提取水印信息1。

④ 将特征点与恢复的非特征点进行组合,恢复原有要素并保存水印信息。

另外,由于前期水印的嵌入实质上采取的是多重嵌入方式,因此水印在受到攻击后,部分水印比特在提取时可能会出现不一致的情况。遇到该情况时,即看该水印比特0和1的总提取数,采取多数原则进行提取。

## 4 对缩放攻击鲁棒性的改进

上述算法所生成的水印在经过缩放操作之后会发生破坏,其原因如下:

假设某要素含有如图5所示的A、B、C、D4个点,在进行道格拉斯-普克压缩(假设阈值为0.2)时首先提取C点,在提取C点以后考察B点。由于B到线段AC的距离为0.18,故B点不予保存。但是在将图形进行缩放以后,B点到线段AC的距离则可能大于阈值0.2,因此,在缩放前后较有可能出现不同的压缩结果,这将直接影响后期水印的提取,导致提取失败。如果能在矢量地图进行缩放以后获取其缩放因子并在水印提取时将其进行还原,则能有效地解决这个问题。

一种比较简单的思路是在密钥文件中记录该矢量图层首要素的第一个特征点坐标值(即头结点坐标),在后期水印提取时取含水印图层与首要素的头结点坐标与其进行比对,确定缩放因子。但该做法对要素排序以及裁剪等第二类攻击不具有鲁

棒性。本文采用的思路为：记录多个要素的头结点坐标，要素不再由其初始顺序而由能唯一确定该要素的一个或多个属性值确定。这种跟属性关联的做法可以有效地抵抗要素的排序攻击，同时由于记录是多个要素的头结点坐标，也可以较好地抵抗裁剪攻击。

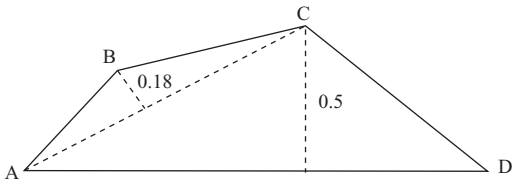


图5 缩放操作对道格拉斯-普克操作的影响  
Fig.5 The influence on Douglas-Poiker algorithm caused by downscaling or upscaling

5 水印嵌入与提取算法的试验分析

作者以中国1:400万省界矢量地图(图6(a))作为载体图层进行了水印的嵌入与提取测试,该图具有1785个要素共计80 965个点,水印信息是一个包含2460像元的2值图像(图6(d))。相关参数如下:压缩阈值  $T=0.2$ , 旋转角度  $\eta=1^\circ$ , 区间起始值取  $\alpha=0^\circ$ 。下面将利用水印的不可感知性、可逆性,以及鲁棒性等指标验证本算法的可行性。

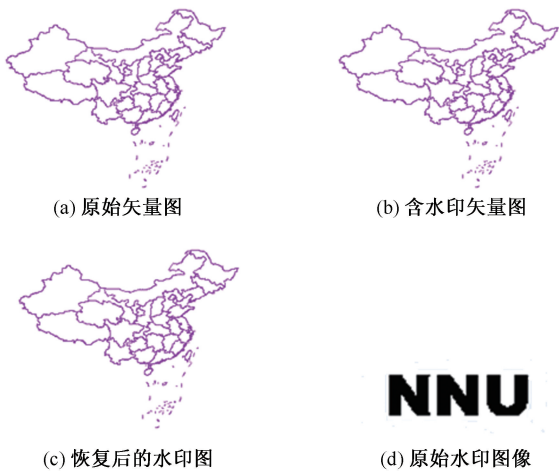


图6 实验结果  
Fig.6 The test result. (a) the original vector map; (b) the vector map with watermarking; (c) the vector map after resolving; and (d) the original watermarking

5.1 水印的不可感知性与可逆性

本文利用最大误差、均方根误差(RSME)<sup>[1]</sup>等指标来度量水印嵌入对载体图层带来的扰动,可得表

1数据:

表1 水印不可感知性相关指标  
Tab.1 The indicator of the transparency of the watermarking

调制角度区间	最大X误差	最大Y误差	RSME.X	RSME.Y
[0, 1)	0.045	0.0617	0.00487	0.00692

对水印嵌入前后矢量图进行对比可知,水印嵌入前后矢量图从视觉上没有明显差别;由上表数据分析可知,水印嵌入以后所产生的最大误差及RSME都在可接受的范围之内,因此,水印具有不可感知性。对比原始矢量数据与恢复后的矢量数据坐标对发现,数据坐标完全一致,因此,该算法是一个完全可逆的算法。

5.2 水印的鲁棒性

5.2.1 旋转、缩放、平移等几何攻击

由表2可知,在经过旋转、平移、缩放攻击后,提取出来的水印基本不受影响。这是由于经过几何攻击后,地图中的点与其相邻前后控制点所形成的交角没有改变,因此,水印对这3种几何攻击具有较好的鲁棒性。

表2 几何攻击的鲁棒性  
Tab.2 The robustness of the watermarking after geometry attack

调制角度区间	水印提取率	旋转攻击后提取率	平移攻击后提取率	缩放攻击后提取率
[0, 1)	97%	97%	97%	97%

5.2.2 要素排序、裁剪、删点攻击

由表3可知,在经要素排序攻击后,水印提取不受影响,在经过裁剪攻击后,即使数据点的数量剩下原来的1/6左右,水印仍可以提取出来。这是由于本文采用了基于线段夹角关系的水印映射规则,使得水印不再采用顺序嵌入方法;与此同时,该方法使得水印信息可以多重随机嵌入,因此可抵抗裁剪攻击等编辑操作。

表3 排序、删点攻击的鲁棒性  
Tab.3 The robustness of the watermarking after ordering and point deleting attack

调制角度区间	裁减后剩余要素数	裁减后剩余点数	提取率	要素排序后提取率
[0, 1)	963	44 943	90%	90%
[0, 1)	52	13 901	78%	78%

### 5.2.3 压缩、图形简化攻击

由表4可知,由于压缩前后特征点没有发生变化,因此后期采用的基于特征点关系的水印嵌入模式可使水印在经过压缩攻击后,仍能正确提取,即使压缩率达到25%,水印的提取率仍能达到80%以上,因此该水印对数据压缩、图形简化等攻击也有较强的鲁棒性。

表4 压缩、图形简化攻击的鲁棒性

Tab.4 The robustness of the watermarking after data compressing and graphic simplification attack

调制角度 区间	压缩阈值	压缩后 剩余点数	压缩率	提取率
[0, 1)	0.001	55 039	32%	96%
[0, 1)	0.01	20 286	75%	83%

### 5.2.4 组合攻击

由表5可知,在多种攻击一起存在的情况下,水印仍能保持较高的提取率。因此,该水印对几何攻击、编辑攻击,以及简化攻击都具有一定的鲁棒性,是一种鲁棒性较强的可逆水印。

表5 组合攻击的鲁棒性

Tab.5 The robustness of the watermarking after combination attack

调制角度 区间	组合类型	压缩 阈值	压缩后 点数	要素删除 后点数	提取率
[0, 1)	压缩+几何变换	0.001	55 039	55 039	96%
[0, 1)	压缩+简化	0.001	55 039	21 958	87%
[0, 1)	几何变换+简化	—	—	44 943	90%
[0, 1)	压缩+几何变换+ 简化	0.001	55 039	21 958	87%

## 6 结语

本文基于矢量数据的特征,提出一种鲁棒性较强的可逆水印算法。该算法除具有一般矢量数据可逆水印的不可感知性与可逆性以外,还具有以下特点:

(1)矢量数据坐标点之间的空间关系在旋转、平移等几何操作前后的不变性,将水印信息调制在坐标点与相邻控制点连线所构成的夹角内,使得水印对旋转、平移等几何操作具有一定的鲁棒性。

(2)利用道格拉斯-普克算法进行预处理,将提取出来的特征点作为控制点,并将水印信息嵌入在非特征点内,一方面可以保持特征点在水印嵌入前

后的一致性,另一方面使得水印可以抵抗压缩、图形简化等攻击。

(3)利用夹角信息来映射水印的比特位,改变了传统的顺序嵌入方式,使得水印可以抵抗要素的排序攻击。另一方面,也使得同一水印比特可以在不同的位置实现多次重复嵌入,使其可抵抗裁剪、增、删点等攻击。

因此,该算法是一种适合精度要求较高矢量地图版权保护的实用方法。

### 参考文献:

- [1] 曹刘娟,门朝光,孙建国.基于空间特征的二维矢量地图可逆水印算法原理[J].测绘学报,2010,39(4):422-427.
- [2] 张丽娟,李安波,闫国年,等.GIS矢量数据的自适应水印研究[J].地球信息科学,2008,10(6):724-729.
- [3] 刘爱利,闫国年.基于DCT域数字水印技术的DEM版权保护研究[J].地球信息科学,2008,10(2):214-223.
- [4] Feng J B, Lin I C, Tsai C S, et al. Reversible watermarking: current status and key issues [J]. International Journal of Network Security, 2006,2(3):161-170.
- [5] Tian J. Reversible data embedding using a difference expansion [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003,13(8):890-893.
- [6] Chang C C, Tai W L, Lin M H. A reversible data hiding scheme with modified side match vector quantization [C]. Proceedings of the 19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications, Taipei, 2005,947-952.
- [7] Voigt M, Yang B, Busch C. Reversible watermarking of 2d-vector data[C]. ACM Int Workshop on Multimedia and Security, Magdeburg, Germany, 2004,160-165.
- [8] Wang X T, Shao C Y, Xu X G, et al. Reversible data-hiding scheme for 2-D vector maps based on difference expansion [J]. IEEE Trans. Information Forensics and Security, 2007, 2(3):311-320.
- [9] Zhao H, Du S J, Zhang D Z. A reversible watermarking scheme for 2D vector drawings based on difference expansion[J]. IEEE 11th International Conference on Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design, 2010, 1441-1446.
- [10] 邵承永,王孝通,徐晓刚,等.矢量地图的无损数据隐藏算法研究[J].中国图象图形学报,2007,12(2):206-211.
- [11] 武丹,汪国昭.基于差分扩张和平移的2D矢量地图的可逆水印[J].光电子·激光,2009,20(7):934-937.
- [12] 陈钢,张茹,钮心忻,等.大容量矢量地图可逆水印算法[J].计算机工程,2010,36(21):129-131.

- [13] 钟尚平,刘志峰,陈群杰.采用复合整数变换差值扩大法的矢量地图可逆水印算法[J].计算机辅助设计与图形学学报,2009,21(12):1839-1849.
- [14] 李黎,李强,方晓君,等.基于差值扩大的2维工程图可逆水印算法[J].中国图象图形学报,2010,15(3):372-377.
- [15] 雷瑜洲.二维CAD工程图可逆水印算法研究[D].长沙:湖南大学,2010.
- [16] 闵连权.一种鲁棒的矢量地图数据的数字水印[J].测绘学报,2008,37(2):262-269.
- [17] 门朝光,曹刘娟,孙建国.图谱域的矢量地图可逆水印算法[J].哈尔滨工业大学学报,2009,41(12):83-87.

## A Reversible Watermarking Algorithm for Vector Map Based on Angle Modulating

ZHANG Chi<sup>1,2</sup>, LI Anbo<sup>1</sup>, LV Guonian<sup>1</sup> and LIN Bingxian<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Virtual Geography Environment, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China;

2. College of Geographic Science, Nantong University, Nantong 226019, China)

**Abstract:** There is a decline in the quality of the original carrier when watermarking is embedded using the traditional technology. It can not meet the requirement of high-precision occasion and under the circumstance when original carrier data can not be tampered. Because the technology of reversible watermarking can completely recover the data of original vector map, it is highly suitable for the copyright protection with the high-precision requirement, for instance, military maps and maps provide evidence for the court. At present, the researches of reversible watermarking algorithm for image field become more mature, while the current reversible watermarking algorithm for vector map mainly refers to the relevant methods of the image field, having not fully considered the organization characteristic of the vector data, so the robustness is not strong. Aimed at the above issue, this paper carries out relevant researches on the algorithm of reversible watermarking of vector map. Based on the invariance of the basic spatial relationship of the points in vector map before and after conventional map operation, a robust reversible watermarking algorithm of vector map is introduced to resolve the problem. Firstly, Douglas-Poiker algorithm is used to classify the points of each feature into characteristic points and none characteristic points. Then the angle, constituted by the lines of each none characteristic point and two adjacent characteristic points, is computed by this algorithm. Finally, the watermarking bit is mapped by the angle and the water information is embedded into none characteristic point by modulating the angle mentioned above. The experiment shows that the watermarking using this paper's algorithm not only has the transparency and reversibility of the general reversible watermarking, but also has good robustness to normal attacks, for instance, rotating, zooming, translating, feature ordering, graphic carving, data compressing, and graphic simplification, etc.

**Key words:** reversible watermarking; angle modulating robustness; vector map