



测绘科学
Science of Surveying and Mapping
ISSN 1009-2307, CN 11-4415/P

《测绘科学》网络首发论文

题目：一种改进 DFT 和 QR 码的矢量地图数字水印算法
作者：奚旭，张新长，鲍建腾，张亚洲
收稿日期：2021-12-02
网络首发日期：2022-07-14
引用格式：奚旭，张新长，鲍建腾，张亚洲. 一种改进 DFT 和 QR 码的矢量地图数字水印算法[J/OL]. 测绘科学.
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4415.P.20220714.1404.006.html>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

一种改进 DFT 和 QR 码的矢量地图数字水印算法

奚旭¹, 张新长², 鲍建腾³, 张亚洲⁴

(1. 苏州科技大学 地理科学与测绘工程学院, 江苏 苏州 215009;

2. 广州大学 地理科学与遥感学院, 广州 510006;

3. 江苏省水利厅, 南京 210001;

4. 江苏省太湖水利规划设计研究院有限公司, 江苏 苏州 215009)

*通信作者 张新长 教授 E-mail: eeszxc@mail.sysu.edu.cn

摘要 针对矢量地图频率域水印无法兼顾不可见性与水印容量的问题, 该文提出一种改进的离散傅里叶变换 (DFT) 和快速响应 (QR) 码的矢量地图数字水印算法。该算法利用 QR 码作为水印信息的载体, 通过 QR 码高荷载的能力提升水印信息容量。在水印嵌入时, 对顶点坐标进行 DFT 变换后获取幅度值序列, 设计了一种奇偶性判断规则, 在嵌入强度可控的情况下, 将二值 QR 码信息嵌入至 DFT 的幅度值序列中。实验结果表明, 所提水印算法对平移、旋转等几何攻击有很好的鲁棒性, 以 QR 码为载体实现了在频率域水印算法中高荷载水印信息的嵌入, 且基于奇偶性规则嵌入的方式不仅实现了水印盲提取, 对数据的干扰程度也很小。

关键词 矢量地图; DFT; QR 码; 数字水印

中图分类号 P208 **文献标志码** A

Watermarking algorithm for vector maps based on improved DFT and QR code

XI Xu¹, ZHANG Xinchang², BAO Jianteng³, ZHANG Yazhou⁴

(1. School of Geography Science and Geomatics Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou, Jiangsu 215009, China;

2. School of Geography and Remote Sensing, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China;

3. Department of Water Resources of Jiangsu Province, Nanjing 210001, China;

4. Jiangsu Taihu Planning and Design Institute of Water Resources Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu 215009, China)

Abstract In view of the problem that frequency domain watermark cannot balance the invisibility and information loading of watermarking, a vector map watermarking algorithm based on improved discrete Fourier transform (DFT) and quick response (QR) code was proposed. Firstly, the QR code, which has the high loading feature, was used as the carrier of copyright information and transformed into a binary sequence as the watermark information sequence. Then, the DFT transformation of vertex coordinate values were performed to obtain the magnitude value sequence, and the geometric invariance of DFT coefficients was used as the theoretical basis for the robustness of the watermarking algorithm. Finally, the parity judgment rule was used to embed the binary watermark sequence into the magnitude value sequence, and the inverse DFT transformation was used to obtain the watermarked vector maps. Experimental results showed that the proposed algorithm had good robustness to geometric attacks such as translation and rotation, and the embedding of highly loaded watermark information in the frequency domain watermarking algorithm was achieved by using QR codes, and the embedding method based on parity rules not only achieved blind extraction of the watermark, but also had minimal interference with the data.

Key words vector maps; DFT; QR code; watermarking

0 引言

矢量地图是一种价值很高的地理空间数据, 在城乡规划、土地利用、交通导航、军事定位等领域应用广泛^[1]。随着互联网技术的蓬勃发展, 人们可以轻易地复制、传输、共享数据成果。与此同时,

收稿日期: 2021-12-02

基金项目: 国家自然科学基金项目 (42101420; 4207144); 苏州科技大学科研项目 (332114801)。

作者简介: 奚旭 (1990—), 男, 江苏溧阳人, 博士, 讲师, 主要研究方向为地理信息安全与防护, E-mail: xixu2013@163.co

网络首发时间: 2022-07-14 16:56:01 网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4415.P.20220714.1404.006.html>

矢量地图的版权保护问题也日益凸显^[2-3]。数字水印作为数据安全防护的前沿技术,在矢量地图的版权保护方面发挥重要作用,从而受到广泛关注^[4-6]。

目前,矢量地图数字水印的研究成果已经较为丰富,根据水印嵌入方式不同,主要分为空间域水印算法和频率域水印算法^[7]。矢量地图空间域水印算法以直接修改坐标值的方式实现水印嵌入,在当前相关研究中,大多水印方案会选择各种各样的统计特征作为水印的嵌入域,以此提升水印方案的安全性,如空间角度值^[8]、拓扑度量值^[9]、几何中心距离^[10]等。此外,空间域水印算法为了减少对数据的干扰,大多学者采用最低有效位法(least significant bit, LSB)的理念^[11],主张在对整体数据精度影响比较低的坐标值中嵌入水印信息,但嵌入域受制于精度位,往往鲁棒性较差^[7]。不同于空间域水印算法,矢量地图的频率域水印算法是将坐标值进行频率变换,通过修改频率变换系数来嵌入水印信息。常见的频率域水印算法主要包括离散傅里叶变换(discrete Fourier transform, DFT)、离散小波变换(discrete wavelet transform, DWT)和离散余弦变换(discrete cosine transform, DCT)^[12]。频率域变换系数的几何不变性为相关水印算法提供了良好的鲁棒性,但在频率变换下,水印嵌入位置和嵌入强度往往不可控,设计数据扰动控制措施是当前重要研究方向之一^[13-15]。如文献[16]通过放大处理 DFT 的变换系数,将水印嵌入幅度系数和相位系数中,能有效控制最大误差;文献[17]通过实验得到即便较小的相位变化也会导致原始数据产生较大扭曲,因此设定很小嵌入强度,并采用自相关检测方法辅助水印的提取,以此减少数据扰动;文献[18]依据矢量地图中不同分块内的坐标点密度特征以及 DFT 幅度值的大小,调整嵌入强度以自适应的方式嵌入水印,在一定程度上控制了矢量地图的精度变化等。

综上可以看出,矢量地图频率域水印算法选择的嵌入域有非常显著的稳健性,成熟的理论基础使频率域水印算法在矢量地图中得到推广。但水印信息的嵌入对坐标点的扰动位置和扰动程度往往难以控制,给数据的可用性带来了隐患,且受限于嵌入域,可携带的水印信息量较少。

针对上述问题,本文基于快速响应码(quick response code, QR 码)和 DFT 幅度值设计了一种兼顾水印荷载量和不可见性的矢量地图频率域水印算法,利用奇偶性判定规则的方式实现水印嵌入,提升水印不可见性的同时,实现水印盲提取,并利用 QR 码提升水印信息的荷载量。

1 基于改进的 DFT 幅度的水印嵌入和提取模型

本文提出了一种基于 DFT 幅度的数字水印嵌入和提取模型,在水印嵌入位使用了奇偶性判断的方法进行水印嵌入,控制数据扰动程度并实现数字水印的盲检测。

1.1 水印嵌入模型

1) DFT 变换。选择需要嵌入水印的图层,获取图层中顶点的集合,然后进行排序,得到顶点坐标序列 $\{v_k\}$,其中 $v_k = (x_k, y_k)$, x_k 为顶点横坐标, y_k 为顶点纵坐标。根据式(1)生成复数序列 $\{a_k\}$ 。

$$a_k = x_k + iy_k, k \in [0, N-1] \quad (1)$$

式中: k 表示第 k 个顶点; a_k 为 k 点坐标构成的复数; N 是坐标序列的定点数; i 为复数的虚数单位。对序列进行 DFT 变换,由式(2)得到 DFT 系数序列 $\{A_l\}$ 。

$$A_l = \sum_{k=0}^{N-1} a_k (e^{-2\pi i/N})^{kl}, l \in [0, N-1] \quad (2)$$

式中: A_l 表示第 l 个系数。根据实践所知,复数序列的平均值是远远大于其 DFT 序列的平均值。因此,在进行水印嵌入前,需要去除 DFT 系数序列中的第一个系数 A_1 。

2) 幅度值获取。为了对 DFT 变换的幅度值进行嵌入和调制,首先需要对 DFT 幅度和相位进行计算。幅度实际上就是 DFT 复数序列的模,而相位则是 DFT 复数序列对应的角度值。式(3)和式(4)分别是幅度和相位的计算公式。

$$M = \sqrt{(\text{Re}A_l)(\text{Re}A_l) + (\text{Im}A_l)(\text{Im}A_l)} \quad (3)$$

$$P = \tan^{-1} \text{Re}A_l / \text{Im}A_l \quad (4)$$

式中: M 为 DFT 的幅度值; P 为相位; $\text{Re}A_l$ 为复数序列中某个顶点 A_l 的实数部分, $\text{Im}A_l$ 为其虚数

部分。

3) 水印嵌入。由于选取嵌入的二值水印序列 $W = \{w_k\}$ 实际上是一个服从 $N \sim (0,1)$ 分布的二进制序列, 嵌入时直接将水印嵌入到 DFT 幅度值的某一位数 m 中, 使得该位数字 m 满足式 (5) 的关系。

$$\begin{cases} m \bmod 2 = 1 (w_k = 1) \\ m \bmod 2 = 0 (w_k = 0) \end{cases} \quad (5)$$

式中: $\bmod$ 为取模运算符。嵌入过程中, 若该位数字已经满足水印嵌入的要求, 则不需进行调制。若不满足水印嵌入的要求, 则使用式 (6) 对幅度值进行调制。

$$M' = M \pm c \quad (6)$$

式中: M' 为嵌入水印后的幅度值; c 为幅度值的改变量。

4) 改变量率定。 c 值可以通过水印嵌入强度 P_w 来计算, 根据幅度的取值范围 D_M , m 和 c 的取值会发生相应的变化。

$$m = P_w D_M \quad (7)$$

$$c = 10^{-P_w D_M} \quad (8)$$

式中: P_w 为水印的嵌入强度, 应由实际需要进行决定。 P_w 越大, 幅度值的改变量 c 越小, 水印嵌入强度越低, 则数字水印模型对数据精度的影响就越小, 而水印鲁棒性越低。在确定 P_w 大小的时候, 不能忽略 LSB 对嵌入的影响, 若 c 的取值较低, 对原始坐标的改变量小于最低有效位, 计算机则无法将超出精度位的水印数据进行储存。

5) 由于 DFT 变换与逆变换是根据复数序列 $\{A_l\}$ 进行计算的, 需要根据式 (9) 和式 (10) 将幅度和相位值的组合重新转换为复数组合。

$$\text{Re} A'_l = M' \sin P \quad (9)$$

$$\text{Im} A'_l = M' \cos P \quad (10)$$

式中: $\text{Re} A'_l$ 为嵌入水印后复数序列的实数部分; $\text{Im} A'_l$ 为嵌入水印后复数序列的虚数部分。根据以上值, 可以生成已嵌入水印的新复数序列 $\{A'_l\}$, 对其进行 DFT 逆变换后, 即可得到含水印的新坐标值。最后, 根据原数据的拓扑关系和储存顺序, 重新构造线要素和面要素, 再进行储存, 便能得到已嵌入水印信息的矢量地图。

1.2 水印提取方法

在水印的提取过程中, 由于采用了对 DFT 序列的幅度值进行量化奇偶性判断的操作, 不需要原始矢量空间数据的参与, 实现了盲水印。水印提取的基本流程如下:

1) 使用与水印嵌入相同的数据选择策略对数据进行选择。

2) 对选择后的数据进行要素拆分, 确保所有复杂类型的要素, 如面类型要素、线类型要素已拆分为点类型要素, 以顶点为单位进行操作。

3) 将顶点坐标序列转化为虚数序列, 并对其进行 DFT。

4) 根据式 (9) 和式 (10) 计算虚数序列对应的幅度和相位值的组合序列。

5) 根据水印嵌入时候使用的量化奇偶性判断思想, 确定该顶点表示的水印值, 提取规则如式 (11) 所示。

$$\begin{cases} w'_k = 1 (m \bmod 2 = 1) \\ w'_k = 0 (m \bmod 2 = 0) \end{cases} \quad (11)$$

式中: k 表示当前系数在水印序列中的位置, $0 \leq k \leq n$; n 为水印序列的长度; w'_k 为索引为 k 的水印信息值。所有水印都提取完毕后, 可以得到水印提取序列 $W' = \{w'_k\}$ 。

1.3 基于 QR 码的水印生成方法

QR 码具有存储容量大、响应快速、占用空间较小、纠错能力强且支持汉字编码等特点^[19]。随着智能手机的普及, QR 码在很多领域得到了广泛应用, 为信息传播提供了一种快捷方式。由于频率域水印算法的不确定性较大, 水印的嵌入空间较小, 当版权信息量较大时, 采用 QR 码作为信息载体可提升水印嵌入的信息荷载量。本文采用 QR 码生成水印信息, 利用其荷载量较大、纠错能力强的特

点,提高水印信息容量和鲁棒性。以版权内容“苏州科技大学地理科学与测绘工程学院”为例,如图 1 所示,将该文本信息生成抗纠错等级为 H 的 QR 码图像作为原始水印图像 W ,大小为41像素×41像素;将该 QR 码进行二值化后,读取其二值序列,用于水印嵌入。



图1 水印图像
Fig.1 Watermark Image

1.4 评价方法

嵌入水印后,不可避免地对原始数据坐标产生了影响,主要通过误差、平均误差和均方差对数据精度造成的影响进行衡量^[20],以此判断水印的不可见性。在水印鲁棒性评价方面,将提取到的水印序列转换为水印图像 W' ,并与原始水印图像 W 进行对比验证,用归一化相关系数(normalized correlation, NC)衡量图像之间的相似性^[21]。NC 值越高,说明提取的水印图像与原始图像越相似,鲁棒性则越强。具体公式见式(12)。

$$NC = \frac{\sum_{i,j} W_{i,j} * W'_{i,j}}{\sqrt{\sum_{i,j} W_{i,j}^2} \sqrt{\sum_{i,j} W'_{i,j}^2}} \quad (12)$$

式中: $W_{i,j}$ 与 $W'_{i,j}$ 分别为原始水印图像与提取水印图像在第 (i,j) 位的水印信息。

此外,本文将以同等大小的 QR 码图像和字符信息图像作对比,通过信息辨识度分析 QR 码作为水印载体的优势。

2 实验与结果分析

2.1 实验数据

为了检验本文所提算法的通用性,分别采用了道路、等高线和建筑物 3 个线、面要素的矢量地图作为实验数据,具体如图 2 所示,格式为 Shapefile 格式。

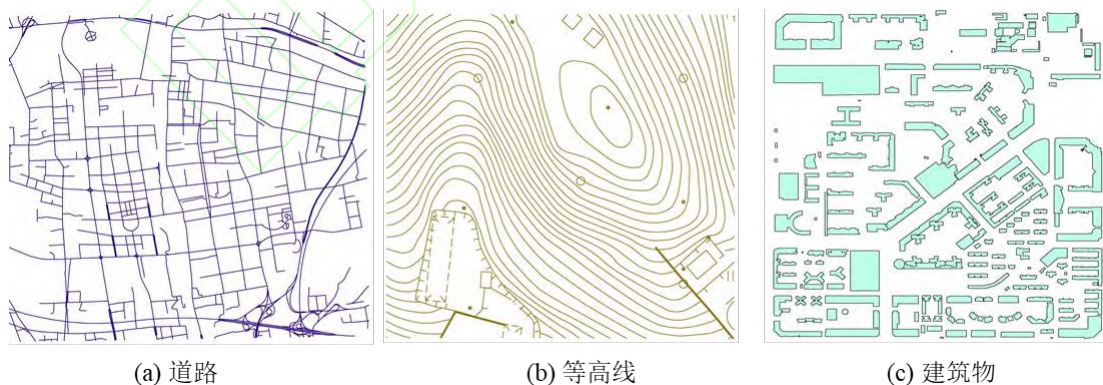


图2 实验数据
Fig.2 Experimental Data

根据国标《1:500 1:1000 1:2000 外业数字测土技术规程 GB14912-2005》中对地形图精度平面误差的要求,1:1 000 比例尺的地形图要求误差范围不超过 0.3 m,1:500 比例尺的地形图要求误差范围不超过 0.15 m。相关图层的详细属性如表 1 所示,基于这 3 种数据,对本文提出的水印模型进行了实

验，嵌入强度 P_w 设置为 2。

表1数据详细属性
Tab.1 Detail Attributions of Experimental Data

图层	类型	比例尺	误差范围/m	要素数量	顶点数量
道路	线	1:1 000	± 0.30	505	7 058
等高线	线	1:1 000	± 0.30	146	7 609
建筑物	面	1:500	± 0.15	202	5 895

2.2 鲁棒性分析

1) 无攻击提取

对含水印矢量地图进行水印提取实验。若数据没有遭受任何攻击，提取结果如表 2 所示。可以看到，对于道路、等高线和建筑物图层，提取的水印精度都接近 100%，水印图像清晰可辨，通过 QR 码识别软件能够正确识别结果，说明在无攻击的情况下，该模型对于线、面图层的水印嵌入提取效果是良好的。

表2 无攻击水印提取结果
Tab.2 Extraction Results of Watermark Images without Attack

图层	提取结果	相似度/(%)	误差像素数	QR 码识别结果
道路		99.95	2	正确
等高线		99.95	2	正确
建筑物		99.98	1	正确

2) 平移攻击

根据 DFT 变换的几何性质，平移只会对 DFT 序列的第一个元素产生影响，由于模型并没有对第一个顶点嵌入水印，平移攻击对数据的提取没有影响。对数据进行不同程度的平移，提取结果如表 3 所示。可以看到，无论平移 1 个单位还是平移 500 个单位，提取的二值图像水印的相似度仍然接近 100%，结果与无攻击时提取结果一致。说明该水印模型具有非常好的抗平移能力。

表3 平移攻击下水印提取结果
Tab.3 Extraction Results of Watermark Images under Translation Attacks

图层	平移单位/m	提取结果	相似度/(%)	QR 码识别结果
道路	1		99.83	正确
	5		99.83	正确
等高线	10		99.83	正确

图层	平移单位/m	提取结果	相似度/(%)	QR 码识别结果
建筑物	50		99.83	正确
	100		99.94	正确
	500		99.94	正确

3) 旋转攻击

一般来说，在正常数据处理时，不会对数据进行旋转，但是有时候微小的旋转也是有可能发生的。本文对实验数据进行中心旋转，表 4 为旋转实验结果。经过旋转攻击后，道路和等高线数据产生了非常细微的误差，而建筑物数据没有产生任何误差，但都能提取出高质量的水印图像，结果得到识别。说明该模型能较好地抵抗旋转攻击。

表4 旋转后提取测试结果
Tab.4 Extraction Results of Watermark Images under Rotation Attacks

图层	旋转单位/(°)	提取结果	相似度/(%)	QR 码识别结果
道路	1		99.83	正确
	5		99.83	正确
等高线	1		99.83	正确
	5		99.83	正确
建筑物	1		99.94	正确
	5		99.94	正确

4) 删点攻击

表 5 为随机删点的水印提取实验结果，结果显示在较小程度的坐标点攻击下也会导致水印提取失败。水印模型根据水印长度，选择相应数量的数据顶点进行水印嵌入，因此只要相应的顶点不被删除或裁剪，水印提取就不受影响。若在删点或裁剪攻击时，影响到了具有水印信息的顶点，则会导致 DFT 序列的整体改变，因此基于 DFT 序列的模型并不能很好地抵抗删点及裁剪攻击。

表5随机删点提取测试结果
Table 5. Extraction Results of Watermark Images under Random Points Deletion

图层名	随机删点数量/(%)	提取结果	相似度/(%)	QR 码识别结果
道路	5		50.18	无法识别
等高线	5		52.40	无法识别
建筑物	5		52.40	无法识别

2.3 不可见性分析

从视觉对比和误差分析两方面对水印的不可见性进行评价。图 3 所示为原始建筑物轮廓图在对比文献[22]中的水印嵌入结果和本文算法下水印嵌入结果的叠置图；由于文献[22]较早提出了基于 DFT 幅度的矢量地图水印算法，本文在此基础上进行改进，因此具有对比意义。本次试验复现文献[22]的算法设定的嵌入强度为 0.002。从图 3 可以看出，左侧的叠置图在不放大的情况下，肉眼几乎难以看出差异；右侧的细节展示图在放大后，可以看出要素发生了明显偏移。在文献[22]的算法下，坐标点的偏移程度明显大于本文提出的水印算法，且部分要素的几何形态扭曲程度较大；本文算法下顶点发生偏移的程度不仅小于对比算法，且图形的形态保持较好，具有良好的不可感知性。

由于在嵌入数据时考虑到了数据精度问题，在 P_w 设置为 2 时，3 组实验数据的详细误差分布情况如图 4 和表 6 所示。可以看出，3 组数据在嵌入水印后的顶点误差基本分布在 0~0.000 1 m 和 0.000 1~0.000 2 m 区间范围内，道路和等高线数据的最大误差不超过 0.001 m，建筑物数据的最大误差也仅为 0.001 241 m，远低于数据要求的精度误差范围。因此，本文提出的水印算法具有较好的不可见性，对数据的干扰程度非常有限，基本不影响矢量地图数据的可用性。

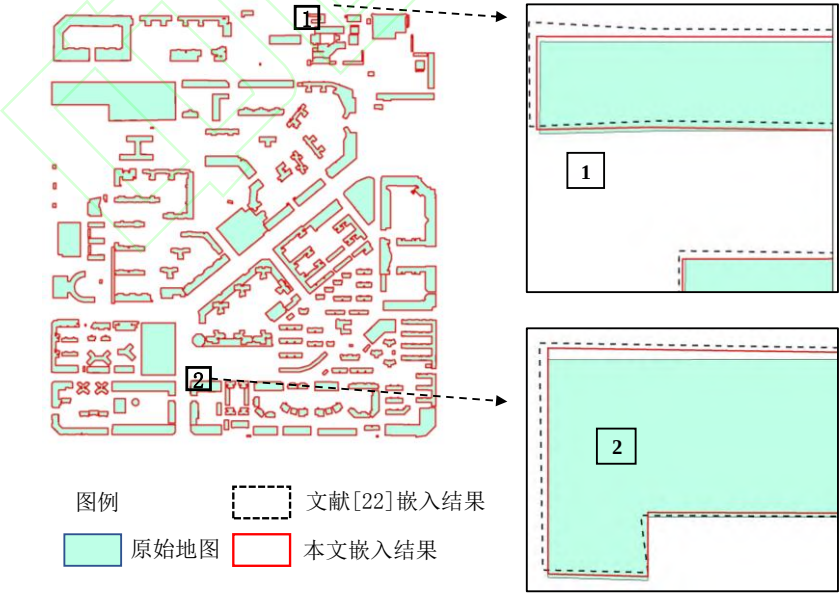


图 3 含水印数据与原始数据叠置图
Fig.3 Superposition Diagrams of Watermarked Data and Original Data

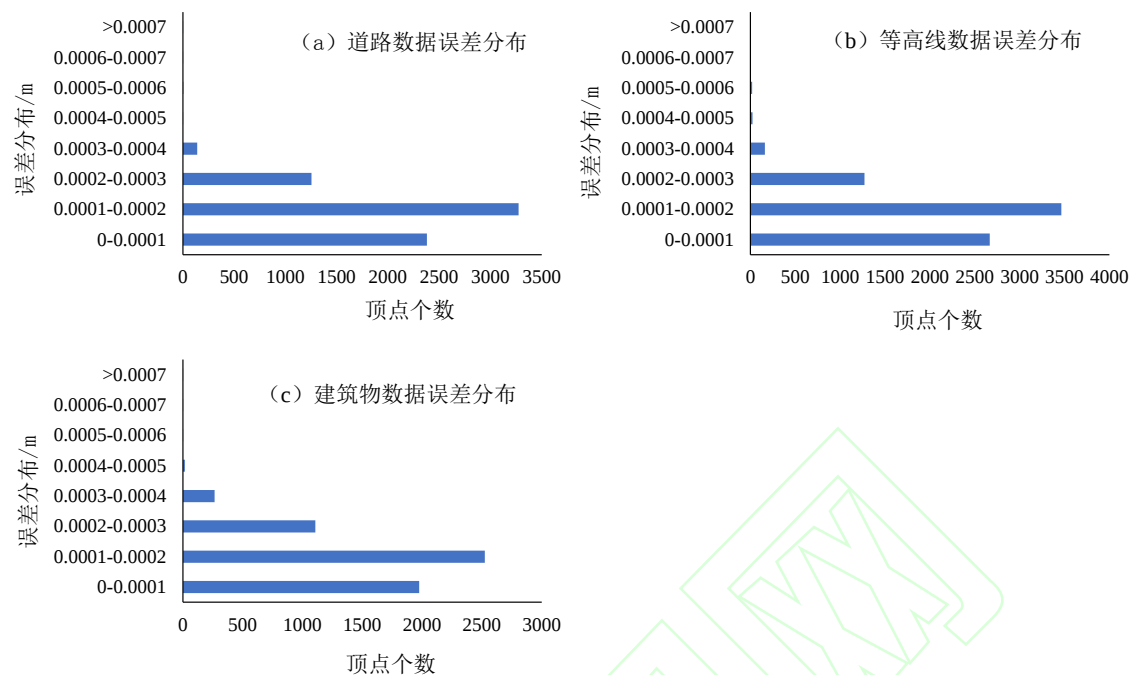


图 4 误差分布
Fig.4 Distribution of Errors

表6 数据误差统计
Tab.6 Statistics of Data Errors

图层	平均误差/m	均方差/($\times 10^{-8}$)	最大误差/m
道路	0.000 155	3.102 1	0.000 984
等高线	0.000 146	2.974 2	0.000 934
建筑物	0.000 143	2.897 2	0.001 241

2.4 水印荷载量分析

本次实验的水印数据为利用“苏州科技大学地理科学与测绘工程学院”字符串生成的 QR 码，该字符串长度为 34（每个汉字的长度为 2），QR 码大小为41 像素 × 41像素。为了直观体现以 QR 码为水印载体的荷载优势，本实验采用传统的二值图像作为对比，以同样的大小生成二值图像，查看其是否容易被识别。表 7 统计了在41 像素 × 41像素的二值图像中，分别载入不同量级字符串的结果，当字符串内容为本文的版权内容“苏州科技大学地理科学与测绘工程学院”时，字体非常模糊，难以辨认；随着去掉的内容越来越多，字体越发清晰，辨识度提升。而 QR 码在同等像素大小下，可以清晰识别更多字符内容。因此，相较传统的二值水印图像，QR 码在水印信息荷载量方面具有较明显的优势。在频率域水印可嵌入水印容量较少而版权内容比较丰富的情况下，可以通过 QR 码实现。

表7 水印图像荷载量分析
Tab.7 Load Analysis of Watermark Images

二值图像内容	字符串长度	生成结果	评价	字符长度占同大小 QR 码百分比/(%)
苏州科技大学地理科学与测绘工程学院	34		字体模糊，难以辨认具体内容	100
地理科学与测绘工程学院	22		字体模糊，基本能够辨认具体内容	64.71
苏州科技大学	12		字体较为清晰，可以辨认	35.29

2.5 对比分析

文献[22]较早提出了基于 DFT 幅度的矢量地图水印模型,本文对基于 DFT 幅度的水印算法在嵌入方式上进行了改进。从表 5 中可以看出,本文提出的水印模型对数据精度的影响最大不超过 0.001 3 m、基本处于 0.000 4 m 以下的范围,对比 0.3 m 的最大数据误差范围,影响仅有 0.13%。文献[22]提出的基于 DFT 幅度的水印模型对数据精度的影响基本处于 1~2 个单位内,相比于其最大误差为 7.5 的数据误差范围,影响达到了 26%。因此,相较文献[22],本文提出的水印模型对数据影响程度更小,在不可见性方面有较大提升。

在对抗旋转攻击方面,本文提出的水印模型几乎能完全抵抗旋转的攻击,提取相似度几乎能达到 100%,最低也不低于 99%。而文献[22]提出的水印模型,在旋转 1°时,相似度便下降到 94.45%;旋转 5°时,相似度下降到 92%。对比文献[22],本文提出的水印模型在抗旋转攻击方面有一定改进。

3 结束语

本文设计了一种基于 DFT 幅度值的矢量地图水印算法,在兼顾水印不可见性和水印信息量的双重条件下,分别在水印嵌入方式和水印信息荷载等方面进行了相关的研究。为了降低水印嵌入引起的误差,提高水印提取识别率,提出了利用区间的奇偶性判断进行水印的嵌入和提取。同时,采用 QR 码作为版权信息的载体,实现在矢量地图 DFT 频率域水印算法中以较小的水印容量嵌入高荷载信息。本文提出的水印算法在不可见性和信息荷载方面相较类似算法取得了进步,且对平移、旋转等几何攻击具有良好的鲁棒性。后续研究将进一步在算法层面上改进对于其他类型的攻击。

参考文献

- [1] XI X,ZHANG X C,LIANG W D,et al.Dual zero-watermarking scheme for two-dimensional vector map based on Delaunay triangle mesh and singular value decomposition[J].Applied Sciences,2019,9(4):642.
- [2] ABUBAHIA A,COCEA M.Advancements in GIS map copyright protection schemes - a critical review[J].Multimedia Tools and Applications,2017,76(10):12205-12231.
- [3] 朱长青. 地理数据数字水印和加密控制技术研究进展[J]. 测绘学报, 2017, 46 (10): 1609-1619. (ZHU Changqing. Research progresses in digital watermarking and encryption control for geographical data[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2017, 46 (10): 1609-1619.)
- [4] 张黎明, 闫浩文, 齐建勋, 等. 运用特征点的矢量空间数据盲水印算法[J]. 测绘科学, 2016, 41 (4): 184-189. (ZHANG Liming, YAN Haowen, QI Jianxun, et al. Feature points based blind watermarking approach for vector data[J]. Science of Surveying and Mapping, 2016, 41 (4): 184-189.)
- [5] 杨辉, 闵连权, 侯翔. 矢量地图数据数字水印技术综述[J]. 测绘与空间地理信息, 2014, 37 (3): 9-12. (YANG Hui, MIN Lianquan, HOU Xiang. The survey of digital watermarking technology for the vector map data[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2014, 37 (3): 9-12.)
- [6] 李虎, 朱恒华, 花卫华, 等. 矢量地理数据安全保护关键技术和方法[J]. 地球科学, 2020, 45 (12): 4574-4588. (LI Hu, ZHU Henghua, HUA Weihua, et al. Key technologies and methods for vector geographic data security protection[J]. Earth Science, 2020, 45 (12): 4574-4588.)
- [7] 曹江华. GIS 矢量数据多重水印研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2011. (CAO Jianghua. Research on multiple watermarking for GIS vector data[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2011.)
- [8] 佟德宇, 朱长青, 任娜. 小数据量矢量地理数据水印算法[J]. 测绘学报, 2018, 47 (11): 1518-1525. (TONG Deyu, ZHU Changqing, REN Na. Watermarking algorithm applying to small amount of vector geographical data[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2018, 47 (11): 1518-1525.)
- [9] WANG C J,PENG Z Y,PENG Y W,et al.Watermarking geographical data on spatial topological relations[J].Multimedia Tools and Applications,2012,57(1):67-89.
- [10] SHAO C Y,WANG H L,NIU X M,et al.Shape-preserving algorithm for Watermarking 2-D vector map data[C]//2005 IEEE 7th Workshop on Multimedia Signal Processing. [S.l.]: IEEE,2005: 1-4
- [11] SCHYNDEL VAN R G,TIRKEL A Z,OSBORNE C F.A digital watermark[C]//Proceedings of 1st International Conference on Image Processing.[S.l.]: IEEE,1994:86-90.
- [12] 朱长青, 许德合, 任娜. 地理空间数据数字水印理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2014. (ZHU Changqing, XU Dehe, REN Na. Theory and method of digital watermarking for geographic data[M]. Beijing: Science Press, 2014.)
- [13] LEE S H,KWON K R.Vector watermarking scheme for GIS vector map management[J].Multimedia Tools and Applications,2013,63(3):757-790.
- [14] XI X,ZHANG X C,SUN Y,et al.Topology-preserving and geometric feature-correction watermarking of vector maps[EB/OL].(2020-02-12) [2021-12-02].<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&number=8995601>.
- [15] HUBER S,HELD M,MEERWALD P,et al.Topology-preserving watermarking of vector graphics[J].International Journal of Computational Geometry & Applications,2014,24(1):61-86.
- [16] 张黎明, 闫浩文, 齐建勋, 等. 基于 DFT 的可控误差矢量空间数据盲水印算法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2015, 40 (7): 990-994. (ZHANG Liming, YAN Haowen, QI Jianxun, et al. A blind watermarking algorithm for copyright protection of

- vector geospatial data under controllable errors based on DFT[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2015, 40 (7) : 990-994.)
- [17] XU D H,WANG Q S.The study of watermarking algorithm for vector geospatial data based on the phase of DFT[C]//2010 IEEE International Conference on Wireless Communications,Networking and Information Security.[S.l.]: IEEE,2010:625-629.
- [18] 赵林, 门朝光, 曹刘娟. 基于 BC6 的自适应矢量地图水印算法[J]. 应用科技, 2009, 36 (7) : 47-50. (ZHAO Lin, MEN Chaoguang, CAO Liujuan. DFT-based adaptive vector map watermarking algorithm[J]. Applied Science and Technology, 2009, 36 (7) : 47-50.)
- [19] SOON T J.QR code[J].Synthesis Journal,2008, 3(1): 59-78.
- [20] 黄丽. 保持几何特征与拓扑关系的 GIS 矢量数据水印算法研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2011. (HUANG Li. Watermarking algorithms for GIS vector data considering geometrical characteristics and topological relationships[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2011.)
- [21] KANDI H,MISHRA D,GORTHY S R K S.Exploring the learning capabilities of convolutional neural networks for robust image watermarking[J].Computers & Security,2017,65(3):247-268.
- [22] 王奇胜. 基于 DFT 的矢量地理空间数据数字水印技术研究[D]. 郑州: 信息工程大学, 2008. (WANG Qisheng. Research on digital watermarking for vector geo-spatial data based on DFT[D]. Zhengzhou: PLA Information Engineering University, 2008.)