

# 利用 QIM 的 DFT 矢量空间数据盲水印模型

许德合<sup>1</sup> 朱长青<sup>2</sup> 王奇胜<sup>3</sup>

(1 华北水利水电学院资源与环境学院,郑州市北环路 36 号,450011)  
(2 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室,南京市文苑路 1 号,210046)  
(3 信息工程大学测绘学院,郑州市陇海中路 66 号,450052)

**摘 要:**针对矢量空间数据数字水印的特点,提出了利用量化索引方法调制(quantized index modulation, QIM)思想的离散傅立叶变换(discrete Fourier transform, DFT)盲水印模型。首先,对矢量空间数据进行 DFT,将水印信息通过量化嵌入到变换后的幅度值中;再进行 DFT 的逆变换,得到嵌入水印后的矢量空间数据。利用文本格式的地理空间数据进行实验,结果表明,该水印模型具有较好的可用性、不可见性以及对格式转换、数据平移、旋转等较好的稳健性。

**关键词:**矢量空间数据;盲水印;QIM;DFT;稳健性

**中图法分类号:**P208

矢量空间数据作为数据的一种,随着 GIS 的广泛应用,其版权保护、篡改鉴别等安全问题显得尤为突出。数字水印技术被引入到矢量空间数据领域中,成为解决此类问题的重要手段。已有的文献中,关于图像和影像的数字水印问题研究得较多,研究矢量空间数据数字水印的文献较少<sup>[1-7]</sup>。水印提取时大多需要原始数据,这种需要原始数据的明检测方法相对容易且稳健性较强,但其检测结果高度依赖于原始数据的质量,而在实际应用中能够得到原始数据的场合并不多。因此,设计盲水印模型是今后数字水印模型研究的重点。

本文将用于图像和音频盲水印<sup>[8,9]</sup>的量化思想引入到基于 DFT<sup>[10]</sup>的矢量空间数据水印模型的设计中,实现了水印的盲检测,且保证了数据的可用性、不可见性和平移、旋转、格式转换的稳健性。

## 1 利用 OIM 的 DFT 矢量空间数据盲水印模型

QIM 的主要原理是将坐标轴等间隔划分成 A 区间集与 B 区间集,区间大小为  $\Delta$ 。规定 A 区间集代表 1, B 区间集代表 0。根据水印值是 0 或 1,调整待嵌入水印的系数值,使其等于离自己最近的对

应区间内的中间值。当检测水印时,只需判断该系数所落的区间是 A 集还是 B 集,就可以得到对应的水印信息是 0 或 1。以 DFT 为变换工具,将水印嵌入到 DFT 系数的幅度中(也可以嵌入到相位,或对幅度相位同时量化)。用适当的步长对幅度值进行量化嵌入,嵌入后的幅度数值和相位进行逆变换,得到嵌入水印的矢量数据。提取时,将待提取的矢量数据进行 DFT,计算 DFT 系数的幅度值,依据嵌入时的位置和量化方案提取水印。

### 1.1 嵌入模型

1) 将原始水印转化为长度满足  $2^N$  (FFT 算法的条件)的二值化水印数据。为了增加水印的安全性,可以对二值化数据进行加密或置乱。

2) 将矢量空间数据  $V$  按存储顺序读取定点坐标  $\{v_k\}$  得到的顶点序列记为  $\{v_k\}$  ( $v_k = (x_k, y_k)$  为顶点坐标),然后将顶点序列的坐标根据式(1)构成一个复数序列  $\{a_k\}$ :

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

式中,  $N$  是  $V$  中的顶点数。

3) 对序列  $\{a_k\}$  进行 DFT,由式(2)得到离散傅里叶系数  $\{A_l\}$ :

$$A_l = \sum_{k=0}^{N-1} a_k (e^{-i2\pi/N})^{kl}, l \in [0, N-1] \quad (2)$$

载体数据经过 DFT 后,得到了一个 DFT 系数序列,这个序列有幅度  $\{|A_i|\}$  和相位  $\{\angle A_i\}$  两个数值。

4) 选取适当的量化步长将系数的幅度值进行量化,根据嵌入水印是“0”还是“1”将系数量化到所在区间的中间值。

5) 将量化嵌入后的幅度值结合未作变动的相位值进行逆变换,用嵌入水印后的坐标  $v'_i$  取代原来的坐标值  $v_i$ ,生成嵌入水印信息的数据  $V'_i$ 。

### 1.2 提取过程

1) 读取待测数据  $V'$ ,依据顶点坐标按式(1)构建复数序列  $\{a'_k\}$ 。

2) 对序列  $\{a'_k\}$  进行 DFT,由式(2)得到离散傅里叶系数  $\{A'_l\}$ ,通过该系数计算出幅度值  $|A'_l|$ 。

3) 对嵌入时位置对应处的幅度值进行均值量化,计算该处的幅度数值是在哪个量化区间,根据该幅度值所在的量化区间提取水印。

4) 将提取的水印位  $b_i$  组成一维序列,进行反置乱,与原始水印信息进行自相关计算。为了增强提取水印效果的客观性,引用文献[11]中描述的自相关检测方法,用自相关系数来辅助判断水印的提取效果,得出自相关系数  $sc|A'_l|$ 。如果嵌入时是二维图像,还要进行升维处理,得出最终用来判断的水印结果。

## 2 实验与分析

实验采用 33 020 个点组成的 1:25 万等高

线数据。水印数据用图 1 所示的  $116\times 32$  位的原始水印数据,根据快速傅立叶变换的运算条件将其扩展为  $4\,096(2^{12})$  位,采用 2 个区间进行量化。实验采用的量化步长分别为  $\Delta=50、100、200$ 。

## 测绘学院

图 1 原始水印  
Fig. 1 Original Watermark

### 2.1 可用性

对原始数据和嵌入水印信息后的数据中的 33 020 个点进行比较,相应坐标间的绝对误差统计结果如表 1 所示。从表 1 中可见,坐标误差随步长的增加而增大。

表 1  $\Delta=50、100$  和  $200$  时相应坐标间的绝对误差统计  
Tab. 1 Absolute Error Statistics of Coordinates  
Corresponding to  $\Delta=50,100,200$

绝对误差 C	个数/n			百分比/%		
	$\Delta=50$	$\Delta=100$	$\Delta=200$	$\Delta=50$	$\Delta=100$	$\Delta=200$
0	32 192	30 895	30 009	97.49	93.56	90.88
1	821	1 888	1 755	2.49	5.72	5.31
2	7	237	901	0.02	0.72	2.73
3	0	0	280	0	0	0.85
>3	0	0	75	0	0	0.19

### 2.2 不可见性

图 2~4 分别显示了量化步长  $\Delta=50、100、200$  时水印嵌入前后的比较,虚线为嵌入水印的数据,实线为原始数据。从嵌入前后数据比较可见,本文提出的水印嵌入模型具有较好的不可感知性,嵌入水印后不影响图形的显示质量。3 个步长相比来看,不可见性随步长的增加而变差。

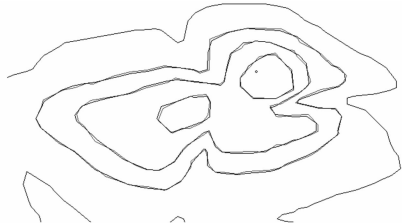
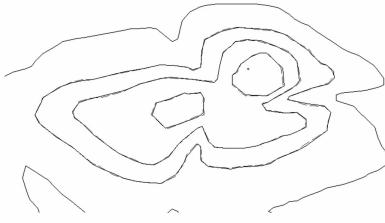
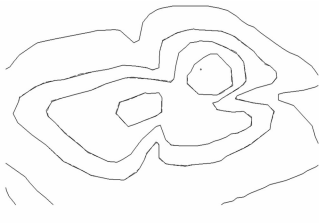


图 2  $\Delta=50$  时嵌入水印前后比较  
Fig. 2 Comparison of Before and After Watermark Embedded  
When  $\Delta=50$

图 3  $\Delta=100$  时嵌入水印前后比较  
Fig. 3 Comparison of Before and After Watermark Embedded  
when  $\Delta=100$

图 4  $\Delta=200$  时嵌入水印前后比较  
Fig. 4 Comparison of Before and After Watermark Embedded  
when  $\Delta=200$

### 2.3 稳健性







对无攻击、格式转换、随机删点、旋转、平移和缩放攻击进行了仿真,发现嵌入水印后的数据在随机删点和缩放后无法提取有效水印,因此只分析其余几种攻击情况下水印的稳健性(提取水印下面的数据为自相关检测系数),如表 2 所示。

### 2.4 实验结论

- 1) 量化间隔越大,即  $\Delta$  越大,相当于水印的嵌入强度越大,提取水印与原始水印的差别就越小,因此稳健性就增大。
- 2) 若参数  $\Delta$  选取过大,将对图形质量及不可见性造成影响,降低它的实用价值。虽然坐标误

表 2  $\Delta=50、100$  和  $200$  时盲水印的稳健性

Tab. 2 Robustness of Blind Model Corresponding to  $\Delta=50, 100, 200$

攻击类型	$\Delta=50$	$\Delta=100$	$\Delta=200$
无攻击	 0.646 552	 0.982 759	 0.996 552
数据格式转换	 0.646 552	 0.982 759	 0.996 552
数据平移	1 个单位  0.646 552	1 个单位  0.982 759	1 个单位  0.996 552
	5 个单位  0.646 552	5 个单位  0.982 759	5 个单位  0.996 552
	10 个单位  0.646 552	10 个单位  0.982 759	10 个单位  0.996 552
数据旋转	1°  0.353 448	1°  0.863 685	1°  0.964 532
	5°  0.294 181	5°  0.844 828	5°  0.970 936
	10°  0.292 026	10°  0.865 841	10°  0.966 010

差可以通过误差补偿保证在一定的范围内,但补偿的坐标点数目过多后,水印提取的效果就会受到影响。因此,量化步长  $\Delta$  的取值要根据水印的稳健性和矢量空间数据的应用背景综合考虑后确定。

3) 若参数  $\Delta$  选取过小,相当于水印嵌入强度小,能够保证可用性及不可见性,但在水印提取时由于系数幅度嵌入水印前后的差别很小,水印的提取效果差。

4) 整数数据在嵌入水印后经过平移、旋转、格式转换,在提取水印时误差主要来源于 DFT 的快速算法 FFT 运算自身产生的误差和取整误差。数据在无攻击、格式转换及平移后的提取效果都一样。数据旋转后产生的水印提取误差主要来自于数据旋转后产生的数据截断。该模型在对嵌入水印后空间数据删点或缩放后无法提取有效水印。

### 3 结 语

本文采用均值量化的方法,设计了一种 DFT 域的盲水印方案,实验结果证实了该水印具有很好的可用性、不可见性,嵌入水印后的矢量空间数据对平移、旋转和格式转换具有稳健性。该方法

计算复杂度低,易于实现,对实现数字媒体的版权保护具有理论意义和应用前景。

### 参 考 文 献

[1] Voigt M, Busch C. Watermarking 2D-Vector Data for Geographical Information Systems [C]. SPIE Security and Watermarking of Multimedia Content, San Jose, USA, 2002

[2] Voigt M, Busch C. Feature-Based Watermarking of 2D-Vector Data [C]. SPIE Security and Watermarking of Multimedia Content, Santa Clara, USA, 2003

[3] Schulz G, Voigt M. A High Capacity Watermarking System for Digital Maps [C]. The 2004 Multimedia and Security Workshop on Multimedia and Security, Magdeburg, Germany, 2004

[4] 王勋,林海,鲍虎军. 一种鲁棒的矢量地图数字水印算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16 (10): 1 377-1 381

[5] 马桃林,顾翀,张良培. 基于二维矢量数字地图的水印算法研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2006, 31(9): 792-794

[6] 王超,王伟,王泉,等. 一种空间域矢量地图数据盲水印算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2009, 34(2): 163-165

[7] Ohbuchi R, Ueda H, Endoh S. Watermarking 2D Vector Maps in the Mesh-Spectral Domain [C]. The Fifth International Conference on Shape Modelling and Applications, Seoul, Korea, 2003

[8] 李燕萍,唐振民,钱博. 基于语音参数模型的抗同步攻击音频水印算法[J]. 计算机工程, 2008, 34(9): 177-179

[9] Sullivan K, Bi Z, Madhow U, et al. Steganalysis of Quantization Index Modulation Data Hiding [C]. IEEE International Conference on Image Processing, Singapore, 2004

[10] 罗纳德 N 布雷斯韦尔. 傅里叶变换及其应用 [M]. 殷勤业,张建国,译. 西安: 西安交通大学出版社, 2005

[11] 杨义先,钮心忻. 数字水印理论与技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006

第一作者简介: 许德合, 博士, 讲师, 研究方向为数字地图制图与出版及地理空间数据的安全等。  
E-mail: xdhwzs@126.com

Blind Watermarking Model of Vector Spatial  
Data Based on DFT of QIM

XU Dehe<sup>1</sup> ZHU Changqing<sup>2</sup> WANG Qisheng<sup>3</sup>

- (1 Institute of Resources and Environment, North China University of Water Resources and Electric Power, 36 Beihuan Road, Zhengzhou 450011, China)
- (2 Key Laboratory of VGE, Ministry of Education, Nanjing Normal University, 1 Wenyuan Road, Nanjing 210046, China)
- (3 Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, 66 Middle Longhai Road, Zhengzhou 450052, China)

**Abstract:** For the characteristics of digital watermarking of vector spatial data, the DFT(discrete Fourier transform) blind watermarking model is put forward based on QIM(quantized index modulation) idea. Firstly, DFT is done to vector spatial data. The watermark data are embedded in the magnitude of DFT through quantification. Then, through inverse DFT transform, the embedded vector spatial data is obtained. Finally, the confirmation is done with text format's vector spatial data. The results show that the watermark has good availability, not visibility, as well as has good robustness to format conversion, data translation, rotation.

**Key words:** vector spatial data; blind digital watermarking; QIM; DFT; robustness

About the first author: XU Dehe, Ph. D, majors in digital cartography and map publishing, the security of geo-spatial data.  
E-mail: xdhwzs@126.com

(上接第 1099 页)

encrypted to protect itself. On the basis of analyzing the characteristics of large quantity of remote sensing data and application requirements on security, a scheme of authorizing the use of remote sensing images based on multi-level security is put forward. The same remote sensing images after encryption are distrtrbuted to different level users, such as authorized user, partly authorized user, unauthorized user, but different authorization users acquire different importmant degree information after decryption through their own decryption keys. The scheme has high confidentiality and high computing efficiency encryption algorithm, and solve the difficult problems of large quantity of remote sensing data on security and secrecy.

**Key words:** remote sensing images; multi-region selection; multi-level encryption; multi-level authorization based on content

About the first author: LIU Jin, Ph.D candidate, majors in processing of remote sensing images and information security.  
E-mail: honghurenmin@163.com