

文章编号: 1001-1595(2011)03-0397-04

## 基于小波变换的数字栅格地图复合式水印算法

符浩军<sup>1,3</sup>, 朱长青<sup>2</sup>, 繆 剑<sup>3</sup>, 胡群英<sup>3</sup>

1. 信息工程大学 测绘学院, 河南 郑州 450052; 2. 南京师范大学 虚拟地理环境教育部重点实验室, 江苏 南京 210046;  
3. 61363 部队, 陕西 西安 710054

### Multipurpose Watermarking Algorithm for Digital Raster Map Based on Wavelet Transformation

FU Haojun<sup>1,3</sup>, ZHU Changqing<sup>2</sup>, MIAO Jian<sup>3</sup>, HU Qunying<sup>3</sup>

1. Institute of Surveying and Mapping, Information Engineer University, Zhengzhou 450052, China; 2. Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Nanjing Normal University, Nanjing 210054, China; 3. 61363 Troops, Xi'an 710054, China

Abstract: A compound watermarking algorithm for digital raster map is proposed based on wavelet transformation. The basic idea is to embed the robust watermark and the fragile watermark into different frequency blocks of the digital raster map based on the features of digital raster map with higher luminance and greater sensual capability than image data. The robust watermark is adaptively embedded into low frequency section to protect the copyright of the data. The fragile watermark is embedded into high frequency section by the dithered modulation technique to achieve the goal of content authentication according to the characteristics of human visual systems. The experiments show that the proposed algorithm can attest content integrity for digital raster map, and is robust against various malicious attacks such as JPEG compression, sharpening, cutting etc.

Key words: digital raster map; multipurpose digital watermarking; wavelet transformation; robustness; fragility

摘 要: 提出一种基于小波变换的复合式数字栅格地图水印算法。其基本思想是在数字栅格地图的不同频域块中分别嵌入抗差性数字水印和脆弱性数字水印。基于数字栅格地图相比一般影像数据具有较高亮度, 低频分量具有更高感觉容量的特点, 在地图的小波低频域上自适应嵌入抗差性数字水印, 以实现地图版权保护功能; 结合人类视觉系统特性, 利用抖动调制技术在小波高频域中嵌入脆弱性数字水印, 以实现地图内容完整性认证功能。试验结果表明, 该算法能对地图内容的完整性进行认证, 同时对常见的各种攻击诸如 JPEG 压缩、锐化、剪裁等具有良好的抗差性。

关键词: 数字栅格地图; 复合式数字水印; 小波变换; 抗差性; 脆弱性

中图分类号: P208 文献标识码: A

基金项目: 国家自然科学基金(41071245); 国家 863 计划(2009AA12Z228)

## 1 引 言

随着数字地球、网络技术的飞速发展, 特别是基于 Web 地图服务的广泛应用, 各种数字化地图产品的存取、传输变得非常方便。同时, 数字地图易于复制与传播的优点也导致其版权纷争现象日益严重, 于是数字地图的版权保护和真实性、完整性的认证等问题已经成为当前地理空间信息安全亟须解决的问题。作为数字作品版权保护有效技术, 数字水印在这方面显示出巨大的潜力。

数字水印技术对数字地图的保护主要有如下两个方面: 一是版权保护, 即在数字地图中嵌入抗差性数字水印, 在经过各种攻击后仍能保存有效水印信息以作为版权保护的依据; 二是内容真实性(完整性)认证, 即嵌入脆弱性数字水印, 利用水

印能够抵抗一定程度的数字地图处理操作但对恶意篡改敏感的特性, 通过检测对数字地图破坏程度及位置作出评估。

对于数字地图的数字水印技术研究, 目前主要集中在抗差性数字水印研究方面<sup>[1-3]</sup>, 对于包含抗差性数字水印和脆弱性数字水印的复合式水印技术研究还不多。目前关于复合式水印技术在图像方面已有一些研究。在文献[4]中将选定的小波系数作为掩蔽阈值单元, 利用鸡尾酒算法量化系数以嵌入水印信息, 同时将原始量化结果记录作为隐藏水印, 水印提取时可用来重构原始图像, 且失真度小。文献[5]基于 DCT 域嵌入抗差性数字水印, 利用 LSB 算法嵌入脆弱性数字水印, 所提出的复合式水印算法具有较好的双重保护性能, 但脆弱性数字水印对一般图像处理不具备抗

差异性。文献[6]提出一种基于小波变换的多功能水印算法,抗差水印利用一种控制量化过程嵌入到图像的低频系数,而脆弱水印则在高频系数中嵌入,该算法可区分有意攻击和无意攻击。文献[7]借鉴 DEW 算法原理,提出了一种具有版权保护和内容认证双重功能的 JPEG 图像数字水印算法,并用试验证明了算法的有效性。这些研究取得了一些成果,但都是针对一般影像数据的。本文在对一般影像数据的复合式水印算法分析的基础上,根据数字栅格地图的本质特征,基于小波分析理论,对数字栅格地图的复合式水印算法进行了研究。

小波变换作为一种变换域信号处理方法,近年来在计算机视觉和图像处理研究领域,引起人们的极大兴趣。小波变换将图像在独立的频带和不同空间方向上进行分解,具有良好的空间-频率分解特性<sup>[8]</sup>,作为 JPEG2000 标准的小波变换,由于充分满足渐进传输、低比特率传输、抗错性、分辨率和质量的可调整性等新的需求,使得基于小波变换的水印算法具有优异的性能,同时小波变换具有明确的物理意义,有利于理解和指导水印信息的嵌入。

数字栅格地图可以看作一类图像,但数字栅格地图这一人工制图产物又有其自身特性。数字栅格地图和一般影像数据相比,地图的色彩具有较高的亮度和较小的饱和度,地图中空域像素值变化比较大,反映在频域中则为低频分量变化比较明显,高频分量幅值较大,而一般影像数据具有很好的相关性,相对来讲,变化就缓一些<sup>[1]</sup>。因此,数字栅格地图比一般的影像数据有更大的低频分量,所以在保证相同的视觉效果下,数字栅格地图低频分量中具有更高的感觉容量,可嵌入比影像数据更强的水印信号。

基于小波变换和数字栅格地图的特征,在数字栅格地图中同时嵌入抗差性水印和脆弱性水印,能够同时实现地图版权保护和内容认证的功能。

## 2 数字栅格地图复合式数字水印嵌入算法

由于脆弱性水印对栅格地图的失真很敏感,抗差性水印则对失真有较强的抵抗力,而两种水印嵌入同一区域有可能会影响水印检测,因此在本文中把两种水印信息嵌入不同频域块。在频率

域中,低频分量代表数字栅格地图的平滑区域,在此分量嵌入的水印抗差性强,因此,把抗差性水印嵌入低频分量;细节分量代表地图的边缘及纹理部分,而此部分对图像处理操作比较敏感,因此,把脆弱性水印信息嵌入细节分量。这样,考虑到两种水印的不同特性,根据地图经小波变换后的分量数据特征将其分别嵌入,且将两种水印嵌入不同频域块不会相互影响,从而也就不会影响到水印检测效果。

### 2.1 抗差性数字水印的嵌入

本文采用有意义二值图像信息作为水印信息  $W$ ,对二值图像按从左到右、从上到下顺序进行扫描,当像素为白色时值为 -1,黑色时值为 1,得到水印信息  $W$

$$W = \{w(k)\} \quad (k = 1, 2, \dots, m)$$

式中,  $w(k) = \pm 1$ 。

首先,将水印信息  $W$  在空间上周期性扩展  $N$  次,并对其进行置乱,得水印信息  $W'$ 。周期性扩展水印信息的目的是在于增强水印的抗差性,置乱是为了提高其抗剪切攻击能力。

其次,将数字栅格地图进行离散小波变换,依次选取低频系数组成低频分量序列  $d = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ ,把  $W'$  嵌入低频分量序列  $d$  中,得到携带水印信息的低频分量序列  $D = \{D_1, D_2, \dots, D_{Nm}\}$ 。嵌入规则为

$$D_i = d_i + [\alpha d_i + 0.5]w'(i)$$

式中,  $[\alpha d_i + 0.5]$  表示对数  $(\alpha d_i + 0.5)$  取整;  $c \times m < i \leq (c+1) \times m$ ,  $0 \leq c < N$ 。然后根据原低频分量序列  $d$  拓展序列  $D$  的长度到  $n$ 。即

$$D = \{D_1, D_2, \dots, D_{Nm}, D_{Nm+1}, \dots, D_n\}$$

式中,  $\alpha (\alpha > 0)$  为水印信息的嵌入强度,  $N$  为原水印信息  $W$  的扩展次数。设  $n$  为低频分量序列数,  $m$  为水印信息的长度,则水印扩展次数  $N = \text{INT}(n/m)$ 。

### 2.2 脆弱性数字水印的嵌入

地图经小波变换后的细节分量近似服从 Laplace 分布,其大部分系数接近 0,只有小部分对应于地图边缘和纹理区域的系数具有较大的峰值。为了使脆弱性水印对一般图像处理操作具有一定程度的抗差性,可以潜在利用人类视觉系统的特性在细节分量感知重要系数中嵌入脆弱水印,即在细节分量序列中选择显著系数进行水印嵌入,系数的显著性由系数和门限的比较而定。同时为了使水印信息对栅格地图具有块篡改定位

能力, 在水印信息嵌入前对小波系数进行分块处理。具体嵌入过程如下:

首先, 将数字栅格地图进行离散小波变换得到相应的细节分量, 用  $Z_k(i, j)$  表示  $k$  方向上的细节分量,  $k \in \{H, V, D\}$  分别代表水平、垂直和对角线方向的细节分量。将细节分量序列分块, 根据  $T_l$  决定每块系数分量的水印嵌入位置, 这里选用  $T_l = \max\{|Z_k(i, j)|\} / 2$ 。

其次, 对于要嵌入水印的系数, 将系数位置对应的三个细节分量进行排序, 然后对中间值系数进行量化来嵌入水印, 假设对应细节分量关系为  $Z_{k_1}(i, j) \leq Z_{k_2}(i, j) \leq Z_{k_3}(i, j)$ , 将区间  $Z_{k_1}(i, j)$  到  $Z_{k_3}(i, j)$  分段, 将区间  $[Z_{k_1}(i, j), Z_{k_3}(i, j)]$  划分成规定段数, 而后根据水印信息的不同将  $Z_{k_2}(i, j)$  量化到不同的端点上。

在抗差性数字水印和脆弱性数字水印信息嵌入小波系数后, 根据新的携带水印信息的系数进行小波逆变换, 这样就构成了含双重水印信息的新数字栅格地图。水印嵌入过程如图 1 所示。

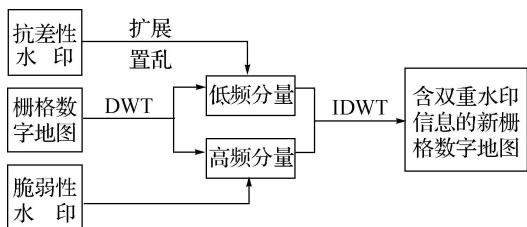


图 1 水印信息嵌入流程图

ig. 1 The flow chart of embedding watermarking

### 3 复合式数字水印提取算法

在本文算法中, 抗差性水印和脆弱性水印的提取相对独立, 可以通过不同的提取算法分别在嵌入两类水印信息的数字栅格地图中提取出。

对于抗差性水印提取, 首先将含水印数字栅格地图和原始地图进行离散小波变换, 依次选取变换后的低频系数, 组成低频分量序列  $D = \{D_1, D_2, \dots, D_n\}$  和  $d = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ ,  $D$  为加水印地图的低频分量,  $d$  为原图的低频分量。分别对  $D$  和  $d$  求其差,  $\Delta = D_i - d_i$ , 其中  $1 \leq i \leq N \times m$ 。根据两者如下关系判断数组  $\{b_i\}$

$$b_i = \begin{cases} -1, & \text{当 } \Delta < 0; \\ 1, & \text{当 } \Delta > 0; \end{cases}$$

对数组  $\{b_i\}$  置乱, 然后依据最大隶属度原则获取水印信息  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}$ 。

对于脆弱性水印提取, 由于脆弱性水印的嵌入过程采用了量化中间值系数的方式嵌入水印信息, 因此其提取过程实际上是嵌入过程的逆过程。

为客观评价提取的水印与原始水印信息的相似程度, 采用以下相似度计算公式

$$NC = \frac{1}{L} \sum_i b_i$$

式中,  $b_i = 1 - XOR(\omega_i, \omega_i^*)$ ,  $\omega_i$  和  $\omega_i^*$  分别表示原始水印和提取的水印信息;  $L$  是水印长度。

### 4 试验结果与分析

为了验证提出的水印嵌入和提取算法, 对一幅大小为  $339 \times 309$  像素的 RGB 彩色级数字栅格地图进行了水印的嵌入、提取和攻击测试试验。所嵌入水印信息为二值图像, 其中抗差性水印嵌入强度取  $\alpha = 0.015$ 。含水印地图在未受攻击的情况下, 抗差性水印和脆弱性水印信息的检测相似度均为 1.0。



(a) 原数字栅格地图



(b) 含水印数字栅格地图

图 2 试验效果图

Fig. 2 The experimental results

从水印嵌入前后效果图 2 可见, 图 2(a) 和图 2(b) 视觉上看不出明显的差异, 提出的水印嵌入算法具有好的不可感知性, 嵌入水印信息后不影响地图的显示质量。

为了分析抗差性水印对图像处理操作中各种攻击的抗差性、脆弱性水印对常见图像处理操作

的抵抗力及恶意攻击的识别能力,对加水印信息后的数字栅格地图进行了 JPEG 压缩、锐化、剪切、加噪、缩放等攻击,其试验结果如表 1 所示。由表 1 中试验数据可见,地图中所嵌入的抗差性水印对各种攻击均具有较强的抵抗能力,且在同等攻击强度下,抗差性水印的检测相似度均高于文献[1]算法。特别是对地图进行 JPEG 压缩、锐化和剪切等攻击后,抗差性水印信息都能较完整地提取。同时试验也表明嵌入的脆弱性水印可以抵抗一定程度的 JPEG 压缩和锐化等常见图像处理,在经过 JPEG 压缩和锐化等图像处理,其水印检测相似度均在 0.9 以上,而对于加噪、剪切等恶意攻击则表现出较好的脆弱性,其水印检测相似度在 0.5 左右。脆弱性水印信息是在对系数进行分块后再嵌入,所以可根据所提取的脆弱性水印信息对地图被恶意篡改部分进行较好的块定位。

表 1 攻击试验结果

Tab. 1 The experimental results for attacking

水 印 攻 击	脆弱性水印 检测相似度	抗差性水印检测相似度	
		本文算法	文献[1]算法
JPEG 压缩	0.901	0.967	0.83
锐化	0.948	0.974	0.95
剪切 1/4	0.732	0.963	—
剪切 1/2	0.495	0.962	0.61
噪声	0.510	0.948	0.73
缩放	0.471	0.961	0.80

## 5 结 论

本文通过分析数字栅格地图的数据特性,提出基于小波变换的复合式数字栅格地图水印算法,所提出算法具有以下特点:①在数字栅格地图中嵌入复合式水印,可同时实现版权保护和内容认证的双重功能;②嵌入的抗差性水印对 JPEG 压缩、锐化、剪切、噪声等常规图像攻击具有良好的抵抗性能,其抗差性均高于文献[1]的算法;③嵌入的脆弱性水印对 JPEG 压缩、图像增强等常规图像处理具有好的抗差性,而对加噪、剪切等恶意攻击则体现了较好的脆弱性,且对地图篡改内容具有块定位功能。同时,本文算法也可应用于影像数据、数字高程模型数据的安全保护。

## 参考文献:

[1] WANG Xun, ZHU Xiajun, BAO Hujun. Complementary

Watermarking Algorithm for Digital Grid Map[J]. Journal Zhejiang University: Engineering Science, 2006, 40(6): 1056-1059. (王勋,朱夏君,鲍虎军.一种互补的数字栅格地图水印算法[J].浙江大学学报:工学版,2006,40(6): 1056-1059.)

- [2] FU Haojun, ZHU Changqing, XU Huining. Watermarking Algorithm for Digital Grid Map Based on Wavelet Transformation[J]. Science of Surveying and Mapping, 2009, 34(3): 107-108. (符浩军,朱长青,徐惠宁.基于小波变换的数字栅格地图水印算法[J].测绘科学,2009,34(3): 107-108.)
- [3] ZHU Changqing, FU Haojun, YANG Chengsong, et al. Watermarking Algorithm for Digital Grid Map Based on Integer Wavelet Transformation[J]. Geomatics and Informatica Science of Wuhan University, 2009, 34(5), 619-621. (朱长青,符浩军,杨成松,等.基于整数小波变换的数字栅格地图数字水印算法[J].武汉大学学报:信息科学版,2009,34(5),619-621.)
- [4] LU C S, LIAO H Y M. Multipurpose Watermarking for Image Authentication and Protection[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(10): 1579-1592.
- [5] WU Fang, RUI Guosheng. Compound Multipurpose Digital Watermarking Algorithm[J]. Computer Engineering and Design, 2006, 27(20): 3930-3935. (吴芳,芮国胜.复合式多功能数字水印算法[J].计算机工程与设计,2006,27(20): 3930-3935.)
- [6] INOUE H, MIYAZAKI A, KATSURA T. Wavelet based Watermarking for Tamper Proofing of Still Images[C]// Proceedings of 2000 International Conference on Image Processing: vol 2. Vancouver: IEEE, 2000: 88-91.
- [7] WANG Jinshen, DAI Yuewei, WANG Zhiqian. A New Algorithm of Dual function Watermarking for JPEG Image[J]. Journal of Tianjin Normal University: Natural Science Edition. 2007, 27(1): 68-74. (王津申,戴跃伟,王执銓.具有双重功能的 JPEG 图像水印的新算法[J].天津师范大学学报:自然科学版,2007,27(1): 68-74.)
- [8] DAU BECHIES I. Orthonormal Bases of Compactly Supported Wavelets[J]. Commun. on Pure Appl. Math., 1988, 41(7): 909-996.

(责任编辑:丛树平)

收稿日期: 2010-02-08

修回日期: 2010-04-06

第一作者简介:符浩军(1982—),男,博士生,主要研究方向为数字水印、GIS等。

First author: FU Haojun(1982—), PhD candidate, majors in digital watermarking, GIS.

E mail: fhjun121@163.com